

UITVAL 380 KV-STATION DIEMEN OP 27 MAART 2015

Rapport technisch onderzoek

TenneT TSO BV

Report No.: 15-1401-OPE/AM, Rev. 4: Final-NL-Revised

Date: 2015-06-09



Project name:	Uitval 380 kV-station Diemen op 27 maart 2015	DNV GL Energy
Report title:	Rapport technisch onderzoek	KEMA Nederland B.V.
Customer:	TenneT TSO BV	Postbus 9035
Contact person:	Remco Broekhuis	6800 ET Arnhem
Date of issue:	2015-06-09	
Project No.:	74107628	
Organisation unit:	OPE/AM	Tel: +3126 356 9111
Report No.:	15-1401-OPE/AM Rev. 4: Final-NL-Revised	KvK09080262

Applicable contract(s) governing the provision of this Report:

Prepared by:

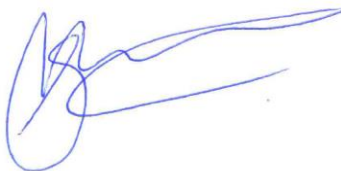


Jos Wetzer
Senior Principal Consultant



Karwan Mazuri
Senior Consultant

Verified by:



Ebbo de Meulemeester
Senior Consultant



Mischa Vermeer
Senior Consultant

Approved by:



Stefan Evers
Head of Section Asset Management

Copyright © DNV GL 2014. All rights reserved. DNV GL disclaim liability for any direct, indirect, consequential or incidental damages that may result from the use of the information or data, or from the inability to use the information or data contained in this document. The contents of this report may only be transmitted to third parties in its entirety and provided with the copyright notice and disclaimer. DNV GL and the Horizon Graphic are trademarks of DNV GL AS.

DNV GL Distribution:

☒ Unrestricted distribution (internal and external)

by Tennet

☐ Unrestricted distribution within DNV GL

☐ Limited distribution within DNV GL after 3 years

☐ No distribution (confidential)

☐ Secret

Rev. No.	Date	Reason for Issue	Prepared by	Verified by	Approved by
1	2015-06-02	Concept versie NL	J. Wetzer, K. Mazuri	E. de Meulemeester M. Vermeer	S. Evers
2	2015-06-04	Finale versie NL	J. Wetzer, K. Mazuri	E. de Meulemeester, M. Vermeer	S. Evers
3	2015-06-05	Draft version ENG	J. Wetzer, K. Mazuri	E. de Meulemeester, M. Vermeer	S. Evers
4	2015-06-09	Finale versie NL revisie	J. Wetzer, K. Mazuri	E. de Meulemeester, M. Vermeer	S. Evers

Inhoudsopgave

MANAGEMENT SAMENVATTING	1
Leeswijzer	5
1 INLEIDING VOOR DE NIET-ELEKTROTECHNISCHE LEZER.....	6
2 INLEIDING TECHNISCH ONDERZOEK	8
2.1 Achtergrond	8
2.2 Onderzoeksvraag	8
2.3 Lijst van afkortingen	9
3 AANPAK VAN HET ONDERZOEK	10
3.1 Aanpak DNV GL	10
3.2 Locatiebezoeken, interviews en ontvangen informatie	11
4 380 KV NETWERK EN STATION DIEMEN	12
4.1 Station Diemen en het 380 kV netwerk	12
4.2 Primaire installatie	12
4.3 Secundaire installatie	14
4.4 Beveiliging	14
5 VERKREGEN INFORMATIE EN VERZAMELDE FEITEN	16
5.1 Beschrijving van de storing	16
5.2 Betrokken veld en componenten	16
5.3 Inspecties en metingen	17
5.4 Informatie uit interview met de werkverantwoordelijke	25
5.5 Inspectie gefaalde motor railscheider RSB	25
6 RECONSTRUCTIE VAN DE TIJDLIJN	26
6.1 Tijddlijn voorafgaand aan de storing	26
6.2 Tijddlijn tijdens de storing	27
7 TECHNISCHE ANALYSE	32
7.1 Analyse primaire storing	32
7.2 Technische oorzaak van de primaire storing	37
7.3 Samenvatting technische oorzaak van de storing	43
7.4 Analyse escalatie tot uitval	44
7.5 Incident map	46
8 CONCLUSIES	49
8.1 Technische oorzaak van de primaire storing	49
8.2 Technische oorzaak van escalatie tot uitval station	50
9 AANBEVELINGEN	51

MANAGEMENT SAMENVATTING

Globale beschrijving van de storing

Op 27 maart 2015 is om 9:37 uur een storing opgetreden in 380 kV-station Diemen van TenneT, de beheerder van het Nederlandse hoogspanningsnet. Dit station is onderdeel van het Nederlandse 380 kV-hoogspanningsnet. De storing heeft geresulteerd in een volledige uitval van het station. Hierdoor is de stroomvoorziening onderbroken in een groot deel van de provincie Noord-Holland en in een klein deel van de provincie Flevoland. Deze onderbreking trof circa één miljoen huishoudens en een aantal grootverbruikers en vitale infrastructuren, zoals de nationale luchthaven Schiphol en delen van het spoorwegennet van ProRail.

Na ongeveer een uur is station Diemen weer onder spanning gebracht. Vervolgens is in de loop van de daaropvolgende uren via de onderliggende netten van de regionale netbeheerder Liander de stroomvoorziening aan de aangesloten klanten hersteld.

Doel van het onderzoek

Op 27 maart 2015 heeft TenneT aan DNV GL opdracht gegeven om een onafhankelijk onderzoek uit te voeren. Het onderzoek richtte zich in eerste instantie op de gebeurtenissen die hebben geleid tot het ontstaan van de storing. Het station is zodanig ontworpen en beveiligd dat een storing niet automatisch zou mogen leiden tot volledige uitval van het station. Daarom is onderzocht hoe de storing zodanig kon escaleren dat het gehele station werd afgeschakeld en of de beveiliging goed heeft gefunctioneerd.

Het onderzoek heeft zich geconcentreerd op de technische oorzaken van de storing. De onderzoeksvragen zijn als volgt geformuleerd:

- 1 Wat is de chronologische volgorde van gebeurtenissen die hebben geleid tot de opgetreden storing en tot de uitval van station Diemen?
- 2 Wat is de technische oorzaak van het ontstaan van de storing in station Diemen?
- 3 Wat is de technische oorzaak van de escalatie van de storing die heeft geleid tot de volledige uitval van station Diemen? En was de escalatie nodig om de gevolgen van de storing te beheersen?

Aanpak van het onderzoek

Het onderzoek is uitgevoerd in twee fasen:

- 1 Fase 1 richtte zich op het verzamelen van feitenmateriaal door middel van visuele inspecties, interviews met betrokken medewerkers, het uitlezen van systeemdata, het bestuderen van opgenomen telefoongesprekken (of de transcripties daarvan) en het verzamelen van ondersteunende documentatie.
- 2 Fase 2 richtte zich op de reconstructie van de gebeurtenissen en de analyse van de storingsoorzaak. Hierbij zijn hypothesen en scenario's ontwikkeld en gevalideerd. Ten behoeve van de validatie zijn aanvullende inspecties en metingen uitgevoerd.

Dit rapport beschrijft de reconstructie van de opeenvolgende gebeurtenissen, het ontstaan van de storing, de escalatie tot volledige uitval van station Diemen en de technische oorzaken die hieraan ten grondslag liggen.



Om ondanks de technische complexiteit van het onderzoek de toegankelijkheid voor de niet-elektrotechnische lezer te vergroten, is in dit rapport een "Inleiding voor de niet-elektrotechnische lezer" opgenomen.

Reconstructie van gebeurtenissen

De storing vond plaats in 380 kV-station Diemen. Dit station is een openluchtstation dat is uitgerust met een dubbel railsysteem (rail A en rail B) met een enkel koppelveld (waarmee railsystemen A en B gekoppeld of ontkoppeld kunnen worden). Het station is zodanig ontworpen en beveiligd dat een enkelvoudige storing niet automatisch leidt tot een volledige uitval van het station.

De storing op 27 maart vond plaats in "lijnveld Krimpen a/d IJssel wit" (hierna: "KIJ W"), het veld dat het station verbindt met de hoogspanningslijn van Diemen naar Krimpen a/d IJssel. De storing ontstond tijdens de functionele test van een railscheider (genaamd "RSA lijnveld KIJ W"). Een railscheider is een schakelaar die bedoeld is om verbindingen te maken en te verbreken, maar niet om vermogens te kunnen afschakelen en inschakelen (die functie wordt door vermogensschakelaars uitgevoerd). Het lijnveld KIJ W kan door middel van railscheiders gekoppeld worden aan rail A (met railscheider RSA) en/of aan rail B (met railscheider RSB).

De genoemde functionele test werd uitgevoerd omdat een defect relais in het circuit van railscheider RSA was vervangen. De functionele test is een reguliere handeling na vervanging.

Voorafgaand aan de test in het lijnveld KIJ W stonden rail A, rail B en het lijnveld onder spanning. Rail A en rail B zijn aan elkaar gekoppeld doordat het koppelveld gesloten was. Het lijnveld KIJ W was gekoppeld met rail A via railscheider RSA. Voor het uitvoeren van de test werd allereerst railscheider RSB ingeschakeld en vervolgens railscheider RSA uitgeschakeld. Deze handeling wordt ook wel beschreven als het "schuiven van belasting" van rail A naar rail B. Tijdens deze handeling is de verbinding KIJ W gedurende korte tijd verbonden met zowel rail A als rail B. Opgemerkt wordt dat dit een gebruikelijke handeling is.

Een voorwaarde om railscheider RSA veilig te mogen openen is dat railscheider RSB volledig "IN" staat, dat wil zeggen dat de drie polen (fasen) alle verbonden zijn met rail B. Deze voorwaarde zorgt er voor dat bij openen van railscheider RSA de stroom via railscheider RSB kan lopen. Deze voorwaarde wordt bewaakt met de stand-melding van railscheider RSB. Tijdens het inschakelen van railscheider RSB is door het Landelijk Bedrijfsvoerings Centrum van TenneT (hierna: "LBC") geconstateerd dat de stand-melding van railscheider RSB de melding "TUSSEN STAND" bleef geven. Deze melding geeft aan dat de eindstand niet was bereikt. Hierdoor belette het vergrendelingssysteem het openen van railscheider RSA.

Door de vergrendeling kon de schakelhandeling ten behoeve van de functionele test van railscheider RSA niet worden afgerond. Hierdoor ontstond de (ongewenste) situatie dat rail A en rail B met elkaar verbonden bleven. Op basis van de interpretatie van een visuele inspectie van de positie van railscheider RSB en het resultaat van een meting aan de secundaire installatie van railscheider RSB, werd besloten om alsnog door te gaan met de schakelhandeling door railscheider RSA uit te schakelen, en zodoende terug te keren naar de normale bedrijfssituatie. Om dit mogelijk te maken werd de vergrendeling opgeheven door het tijdelijk overbruggen van het desbetreffende stand-meldings-contact van railscheider RSB in het secundaire systeem. Dit resulteerde in een "IN"-melding in het LBC. Vervolgens is het commando gegeven om railscheider RSA uit te schakelen. Tijdens het uitschakelen van railscheider RSA is een kortsluiting opgetreden, en is de railbeveiliging aangesproken. Conform de normale bedrijfsvoering waren rail A en B gekoppeld door het koppelveld. Ten tijde van de storing waren beide



rails A en B tevens gekoppeld door middel van de railscheiders RSA en RSB van het lijnveld KIJ W. Hierdoor zijn alle verbindingen van rail A en rail B afgeschakeld, en werd het station spanningsloos.

Gedetailleerde beschrijving van de storing

Uit het onderzoek is gebleken dat railscheider RSB voorafgaand aan het openen van railscheider RSA niet met alle polen (fasen) verbonden was met rail B. Fase 4 van railscheider RSB heeft galvanisch geen contact gemaakt met rail B. Het gevolg hiervan was dat fase 4 van railscheider RSA tijdens het openen een belastingstroom bleef voeren. Een scheider is niet in staat om een belastingstroom te onderbreken (die functie wordt door vermogensschakelaars uitgevoerd). Wanneer de scheider geopend wordt, ontstaat een zogenaamde "vlamboog" die de beide contacten van de scheider overbrugt. Omdat de boog "gevoed" wordt door de belastingstroom, blijft deze in stand en kan gaan "uitlussen". Hieronder wordt verstaan dat de boog langer wordt en een lus-vormig pad gaat volgen. Dit uitlussen gaat door totdat de boog zo lang wordt dat hij door de voedende spanning niet meer in stand kan worden gehouden, en vervolgens blust. Op grond van de omstandigheden (belastingstroom) tijdens de storing kan worden afgeleid dat dit pad tientallen meters lang kan worden, lang genoeg om een kortsluiting te veroorzaken tussen hoogspanningsgeleiders. Onder invloed van de sterke westenwind heeft de vlamboog zich bewogen in de richting van het dak-net van lijnveld KIJ W, en een kortsluiting veroorzaakt tussen fase 4 en fase 8 van het lijnveld KIJ W. Vervolgens heeft de railbeveiliging de kortsluiting gesignaleerd, en heeft beide railsystemen A en B afgeschakeld door de vermogensschakelaars van alle aangesloten velden te openen. Hierdoor werd het station spanningsloos.

Technische oorzaak van de primaire storing

De primaire storing zoals opgetreden in lijnveld KIJ W is een twee-fasen kortsluiting tussen de fasen 4 en 8. Meer in detail: een twee-fasen kortsluiting tussen de scheidercontacten van railscheider RSA fase 4 (in lijnveld KIJ W) en de schuin daarboven gelegen fase 8 geleider van de lijnverbinding KIJ W, die zich in het dak-net bevindt. Uit het onderzoek van DNV GL is gebleken dat de storing met een hoge mate van waarschijnlijkheid is ontstaan door een combinatie van twee technische oorzaken:

- 1 Railscheider RSB van lijnveld KIJ W heeft na een inschakelcommando niet op alle drie fasen een galvanische (geleidende) verbinding tot stand gebracht met rail B. DNV GL acht het waarschijnlijk dat door een defecte aandrijvingsmotor de pantograaf van fase 4 van het lijnveld KIJ W niet (of nauwelijks) in beweging is gekomen na het inschakel-commando vanuit het LBC. Vervolgens is railscheider RSA uitgeschakeld. Door het ontbreken van volledig contact op railscheider RSB bleef fase 4 van railscheider RSA bij het openen een belastingstroom voeren. Hierdoor kon de "natuurlijke" vlamboog die ontstond bij het openen van railscheider RSA niet doven, en groeide hij uit tot lus-vormige boog met grote afmetingen (tientallen meters). Onder invloed van de westenwind heeft de vlamboog een sluiting veroorzaakt tussen fase 4 en fase 8 van het veld KIJ W.

Uit het onderzoek is gebleken dat de aandrijvingsmotor zeer waarschijnlijk defect is geraakt doordat de motor gedurende enige tijd met geblokkeerde rotor onder spanning is blijven staan, als gevolg van het niet onderbreken van de motorstroom bij het bereiken van een eindstand van de railscheider. Opgemerkt wordt dat de motor wél juist heeft gefunctioneerd op 25 maart 2015 bij een schakelhandeling met railscheider RSB van het lijnveld KIJ W. Het is nog niet met zekerheid vastgesteld waardoor de stroom bij het bereiken van de eindstand niet is afgeschakeld. DNV GL

beveelt aan om hiertoe de besturing van de motorstroom nader te analyseren, in het bijzonder de rol van het wals-contact in de aandrijfkast.

- 2 Het ontbreken van een galvanische verbinding tussen railscheider RSB fase 4 van het lijnveld KIJ W en rail B, had het uitschakelen van railscheider RSA moeten verhinderen. Op grond van een onjuiste interpretatie van een visuele waarneming van de positie van railscheider RSB en een meting in de secundaire installatie van railscheider RSB, is ten onrechte geconcludeerd dat fase 4 van railscheider RSB volledig (dat wil zeggen drie-fasig) "IN" stond, en dat veilig geschakeld kon worden met railscheider RSA. Daarop is besloten om de vergrendeling tijdelijk op te heffen door het overbruggen van een stand-meldings-contact. De tijdelijke aanpassing van een stand-meldings-contact is in principe toegestaan, maar de werkinstructie schrijft voor dat de bijbehorende component fysiek in de stand wordt gebracht zoals die in het secundaire systeem wordt gepresenteerd, en dat deze stand door middel van blokkeringen wordt vergrendeld tegen ongewilde veranderingen. Dit laatste is niet gebeurd.

Technische oorzaak van escalatie tot volledige uitval van het station

De functie van de beveiliging van het station is tweeledig. Enerzijds moet voorkomen worden dat een storing kan leiden tot aanzienlijke, gevaarlijke of langdurige schade aan het station. Hiertoe dienen te grote vermogens, bijvoorbeeld tijdens een kortsluiting, tijds te worden afgeschakeld. Anderzijds moet de continuïteit van de elektriciteitsvoorziening gewaarborgd worden door, ingeval van een storing aan één van de circuits, alleen het gestoorde circuit af te schakelen.

Het 380 kV-station Diemen is uitgerust met een dubbel railsysteem (rail A en rail B) met een enkel koppelveld (waarmee rails A en B gekoppeld of ontkoppeld kunnen worden). Voor de beveiliging wordt het station in twee zones verdeeld, zone A en zone B. Wanneer een kortsluiting optreedt in zone A, dan wordt alleen zone A spanningsloos gemaakt. Treedt een kortsluiting op in zone B, dan wordt alleen zone B spanningsloos gemaakt.

Conform de normale bedrijfsvoering zijn rail A en B gekoppeld door het koppelveld. Ten tijde van de storing waren beide rails A en B tevens gekoppeld middels de railscheiders RSA en RSB van het lijnveld KIJ W. Hierdoor waren de beveiligingszones A en B (tijdelijk) gekoppeld. Deze situatie trad op tijdens een kortdurende en gebruikelijke schakelhandeling. Tijdens deze schakelhandeling trad een kortsluiting op. Doordat beide rails in bedrijf waren toen de kortsluiting optrad, waren zowel zone A als zone B gestoord, en zijn ze beide afgeschakeld. Het gevolg was dat het station volledig spanningsloos werd.

Indien het beveiligingssysteem alleen zone A of alleen zone B had afgeschakeld, zou de kortsluiting op de niet-afgeschakelde zone zijn blijven bestaan, en zou deze fout in tweede instantie alsnog zijn afgeschakeld. De beveiliging heeft derhalve terecht beide zones afgeschakeld.

Aanbevelingen

DNV GL adviseert om bij elk majeur incident een technisch onderzoek te laten volgen door een "Root Cause Analysis" (een onderzoek naar "grondoorzaken" in termen van technologie, proces en mens) met als doel om mogelijke dieper liggende oorzaken op te sporen. Hierdoor kunnen incidentele oorzaken en structurele oorzaken beter onderscheiden en geïdentificeerd worden, en wordt het mogelijk om adequate verbetermaatregelen te treffen om herhaling te voorkomen. DNV GL beveelt aan om in deze analyse aandacht te besteden aan de besturing van de motorstroom en de naleving van werkinstructies.



Leeswijzer

Dit rapport is als volgt opgebouwd:

Hoofdstuk	Beschrijving
1	Inleidende beschrijving voor de niet-elektrotechnische lezer.
2	De achtergrond, de onderzoeksvraag, de gebruikte afkortingen en de leeswijzer.
3	De aanpak van het onderzoek en een overzicht van de locatiebezoeken die zijn afgelegd, de interviews die zijn afgenomen, en de informatie die is ontvangen en geraadpleegd.
4	De opbouw en de situatie van 380 kV-station Diemen en het omliggende netwerk.
5	De verkregen informatie en de verzamelde feiten.
6	De reconstructie van de tijdlijn van gebeurtenissen.
7	De technische analyse van de storing en de escalatie tot volledige uitval.
8	Conclusies.
9	Aanbevelingen.

1 INLEIDING VOOR DE NIET-ELEKTROTECHNISCHE LEZER

Het elektriciteitsnet is een onderdeel van het systeem voor elektriciteitsvoorziening. Het net is nodig om elektrisch vermogen te brengen van de plaats waar het wordt opgewekt naar de plaats waar het verbruikt wordt. Binnen het net maken we onderscheid tussen het transportnet en het distributienet. Het transportnet heeft de hoogste spanningsniveaus, in Nederland 110 kV en hoger, en zorgt voor het verbinden van de belangrijkste opwekkers van elektriciteit (centrales, windmolenparken) met de centra van het gebruik van elektriciteit, zoals grote stedelijke agglomeraties. Via transformatorstations worden de distributienetten gevoed, die zorgen voor het verdelen van de elektrische energie naar de verbruikers.

Het geheel van elektrische circuits of verbindingen in het net (bovengrondse lijnen, ondergrondse kabels, transformatoren en koppelingen) dat zich tussen één of meerdere voedingspunten en één of meerdere afnamepunten bevindt, is de netstructuur. De opbouw van deze netstructuur van het elektriciteitsnet bepaalt in belangrijke mate de betrouwbaarheid. Zo kunnen netwerkdelen, en dus verbruikers, vanuit één of meerdere stations worden gevoed. We spreken dan van enkelvoudige resp. meervoudige voeding.

Transportnetten worden met redundantie, en meestal in ringstructuren, aangelegd om een hoge betrouwbaarheid te garanderen. Hierbij zijn de voedingspunten via verschillende wegen met de afnamepunten verbonden, waarbij de balans wordt gezocht tussen de betrouwbaarheid en de (maatschappelijke) kosten van het net.

Elektriciteitsnetten kunnen vereenvoudigd worden voorgesteld als een verzameling van verbindingen en knooppunten. De hoogspanningslijnen kunnen worden gezien als de snelwegen van de elektriciteitsvoorziening, schakelstations als verkeerspleinen en transformatorstations als de op- en afritten naar de autowegen en de provinciale wegen, de distributienetten. Vaak worden de schakel- en transformatorfuncties gecombineerd in één en het hetzelfde station. In de stations kan vermogen van opwekkers worden ingevoerd, vermogen worden herverdeeld over de verschillende verbindingen en vermogen worden afgegeven aan (grote) afnemers of belastinggebieden (via het distributienet). Naast de functie van het beheersen van de vermogensverdeling in het net is een belangrijke functie van het station ook het beveiligen van het net en van de aangesloten voedingspunten en afnamepunten. Dit laatste is mogelijk omdat in de stations de beveiligingsmiddelen zijn opgesteld en deze direct kunnen ingrijpen in het systeem.

Een station bestaat in principe uit een aantal zogenaamde inkomende en uitgaande velden, dit zijn beginpunten van verbindingen, al of niet verbonden via een gemeenschappelijk deel, het railsysteem.

De twee belangrijkste onderdelen van de velden zijn de vermogensschakelaar en de scheider. De vermogensschakelaar kan de normale vermogens in- en uitschakelen, maar kan ook (als enige apparaat) abnormaal grote vermogens onderbreken die ontstaan als gevolg van een kortsluiting. Nadat het (kortsluit)vermogen is onderbroken door de vermogensschakelaar is het de taak van de scheider om de onderdelen van de installatie ook fysiek los te koppelen van de rest van het station, zodat de storing veilig kan worden verholpen. Alleen een scheider mag, anders dan een vermogensschakelaar, (bijna) zonder vermogen schakelen.

De bediening van de beveiligingsinrichting heeft tot taak het systeem te beschermen tegen onveilige situaties en kortsluiting en het net bij optredende storingen zo veel als mogelijk in stand te houden. De inrichting moet reageren op abnormale situaties in het systeem en moet de juiste vermogensschakelaars aansturen zodat alleen het gestoorde deel zo vlug mogelijk wordt afgeschakeld, om schade te beperken, terwijl het overige deel normaal blijft functioneren om de continuïteit te waarborgen.

Om de betrouwbaarheid te vergroten en onderhoud mogelijk te maken aan onderdelen in de stations, wordt in Nederlandse hoogspanningsstations veelal een zogenaamd dubbel railsysteem toegepast. De



gekozen uitvoeringsvorm van het station hangt in belangrijke mate samen met de functie die het station heeft in het totale systeem van elektriciteitsvoorziening. Naast het dubbelrailsysteem zijn er meerdere zogenaamde stations-concepten mogelijk.

Het dubbelrailsysteem is het meest toegepaste stations-concept. Hierbij heeft elk veld twee (rail)scheiders waarmee naar keuze op één van de twee rails kan worden aangesloten. In normale bedrijfstoestand worden vaak beide rails aan elkaar gekoppeld door middel van een koppelveld. In geval van een storing speelt het koppelveld een belangrijke rol, omdat hiermee de rail waar de storing optreedt – en daarmee de ene helft van het station – kan worden afgeschakeld door de zogenaamde railbeveiliging. Alle velden die zijn aangesloten op de rail waarop de storing optreedt, zullen ook direct worden losgekoppeld door het uitschakelen van de vermogensschakelaars. Het voordeel van een dubbelrailsysteem is dat bij een storing alleen de velden aangesloten op de gestoorde rail afgeschakeld worden, en dat deze uitgeschakelde velden weer snel op het andere railsysteem in bedrijf kunnen worden genomen.

2 INLEIDING TECHNISCH ONDERZOEK

2.1 Achtergrond

Op 27 maart 2015 is om 9:37 uur een storing opgetreden in 380 kV-station Diemen van TenneT, de beheerder van het Nederlandse hoogspanningsnet. Dit station is onderdeel van het Nederlandse 380 kV hoogspanningsnet. De storing heeft geresulteerd in een volledige uitval van het station. Hierdoor is de stroomvoorziening onderbroken in een groot deel van de provincie Noord-Holland en een klein deel van provincie Flevoland. Deze onderbreking trof circa één miljoen huishoudens, alsmede een aantal grootverbruikers en verschillende vitale infrastructuren zoals de nationale luchthaven Schiphol en delen van het spoorwegennet van ProRail.

Na ongeveer een uur is station Diemen weer onder spanning gebracht genomen. Vervolgens is in de loop van de daaropvolgende uren via de onderliggende netten van de regionale netbeheerder Liander de stroomvoorziening aan de aangesloten klanten hersteld.

In de middag van 27 maart 2015 heeft TenneT aan DNV GL opdracht gegeven om een onafhankelijk extern onderzoek uit te voeren. Diezelfde dag heeft het onderzoek een aanvang genomen.

Dit rapport handelt over het technische onderzoek. Het beschrijft de reconstructie van de opeenvolgende gebeurtenissen, het ontstaan van de storing en de escalatie tot volledige uitval, en de technische oorzaken die hieraan ten grondslag liggen.

2.2 Onderzoeksvraag

In de reeks van opeenvolgende gebeurtenissen worden twee fasen onderscheiden. De eerste fase betreft de gebeurtenissen die hebben geleid tot het ontstaan van de primaire storing. De tweede fase beschrijft de gebeurtenissen die de primaire storing hebben doen escaleren tot een volledige uitval van het station. De rationale achter deze keuze is dat het station zodanig ontworpen en beveiligd is dat een enkele storing niet automatisch leidt tot volledige uitval van het station.

De onderzoeksvragen zijn daarom als volgt geformuleerd:

- 1 Wat is de chronologische volgorde van gebeurtenissen die hebben geleid tot de opgetreden storing en tot de uitval van station Diemen?
- 2 Wat is de technische oorzaak van het ontstaan van de storing in station Diemen?
- 3 Wat is de technische oorzaak van de escalatie van de storing die heeft geleid tot de volledige uitval van station Diemen? En was de escalatie nodig om de gevolgen van de storing te beheersen?

2.3 Lijst van afkortingen

Afkorting	Betekenis
CO1	Condensatorbank 1
CO2	Condensatorbank 2
DIM380	Diemen 380 kV-station
DM34	NUON opwekstation DM34
KIJ W	Krimpen a/d IJssel wit
KV	Koppelveld
LA	Lijnaarder
LA ALPHA	Lijnaarder ALPHA
LA BETA	Lijnaarder BETA
LA GAMMA	Lijnaarder GAMMA
LBC	Landelijk Bedrijfsvoerings Centrum
LLS W	Lelystad wit
LLS Z	Lelystad zwart
LS	Lijnscheider
LV	Lijnveld
OSA	Overspanningsafleider
OZN G	Oostzaan grijs
RCA	Root Cause Analysis
RSA	Railscheider A
RSB	Railscheider B
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition
TR401	Transformatorveld 401
TR402	Transformatorveld 402
TR403	Transformatorveld 403
TR404	Transformatorveld 404
VS	Vermogensschakelaar
WV	Werkverantwoordelijke

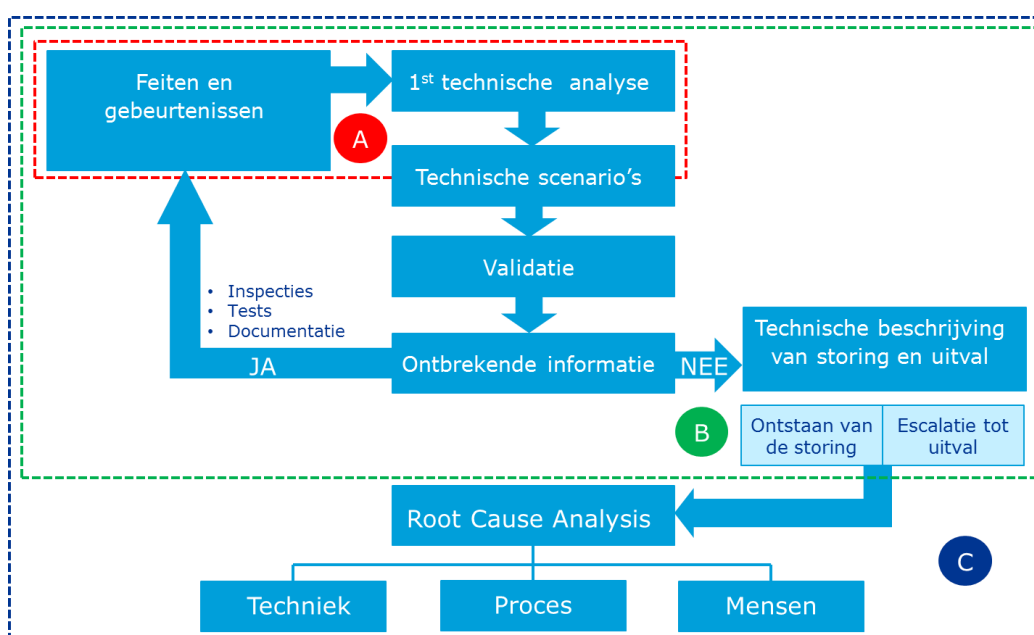
3 AANPAK VAN HET ONDERZOEK

3.1 Aanpak DNV GL

Bij de uitvoering van dit technische onderzoek heeft DNV GL de methodiek gehanteerd die schematisch is weergegeven in Figuur 3-1. De methodiek kent twee fasen:

- A Verzamelen van feiten en gebeurtenissen
- B Technische evaluatie, leidend tot de technische beschrijving en oorzaak van storing en uitval.

Hierbij merkt DNV GL voor de volledigheid op dat bij een majeur incident een technisch onderzoek als hier beschreven gevolgd kan worden door een "Root Cause Analysis" (een onderzoek naar "grondoorzaken" in termen van technologie, proces en mens) met als doel om mogelijk dieper liggende oorzaken op te sporen. Dat is voor de volledigheid aangegeven als fase C, maar maakt geen deel uit van dit onderzoek.



Figuur 3-1 Aanpak van een onderzoek (dit rapport omvat de delen A en B)

Fase A: Verzamelen van feiten en gebeurtenissen

In fase A, die op 27 maart 2015 is gestart, zijn feiten en gebeurtenissen verzameld die nodig zijn om de opeenvolging van gebeurtenissen vast te stellen, die geleid hebben tot het ontstaan van de storing en de escalatie tot netuitval in een groot deel van de provincie Noord-Holland en een klein deel van de provincie Flevoland. Het doel van deze fase is om een eenduidige basis aan bewijsmateriaal te creëren voor het vaststellen van de tijdlijn, en de daaropvolgende technische evaluatie. Feiten en gebeurtenissen zijn onder meer verzameld door middel van:

- Visuele inspecties van stations-componenten en -systemen, inclusief de opgetreden schade;
- Interviews met TenneT-medewerkers die betrokken zijn bij bedrijfsvoering en onderhoud;
- Het uitlezen van systeemdata uit het "Supervisory Control And Data Acquisition" systeem (SCADA) en het beveiligingssysteem;
- Bestudering van de transcripties van de gespreksopnamen, betreffende de communicatie tussen het LBC en de werkverantwoordelijke en specialist in het lijnveld;
- Ondersteunende documentatie over componenten en systemen, de beveiliging, onderhoudsactiviteiten en schakelhandelingen.

Fase B: Technische evaluatie

Het doel van de technische evaluatie is om een beschrijving op te stellen van de ontwikkeling van de primaire storing en van de escalatie tot uitval van het volledige station Diemen 380 kV. Op basis van het verzamelde feitenmateriaal zijn scenario's ontwikkeld. Deze scenario's zijn gevalideerd door ze te confronteren met ontvangen informatie en bewijsmateriaal. Hierbij is onderzocht of een scenario houdbaar is en, met voldoende zekerheid, wordt onderbouwd door feiten. Daar waar in eerste instantie onvoldoende feitenmateriaal voorhanden was om een scenario te bevestigen of ontkrachten, is de daartoe benodigde informatie gedefinieerd en vervolgens verzameld of uit onderzoek verkregen. Daar waar het uiteindelijk niet mogelijk blijkt om te komen tot een eenduidig scenario op basis van de nu beschikbare informatie, wordt een onderzoeksvraag gedefinieerd voor een vervolgstudie.

3.2 Locatiebezoeken, interviews en ontvangen informatie

Voor het verzamelen van feitenmateriaal en het inwinnen van informatie heeft DNV GL een aantal locatiebezoeken gebracht. Tijdens deze bezoeken is DNV GL begeleid door TenneT. Daarnaast is een aantal TenneT-medewerkers geïnterviewd. DNV GL heeft hiervoor in overleg met TenneT een lijst opgesteld met door DNV GL te interviewen medewerkers. TenneT heeft de betrokken personen hiervoor beschikbaar gemaakt. Tot slot heeft TenneT, aan de hand van informatieverzoeken opgesteld door DNV GL, informatie ter beschikking gesteld ter ondersteuning van de technische analyse.

Een overzicht van de locatiebezoeken en van de gehouden interviews is opgenomen in tabel 3-1 en 3-2.

Tabel 3-1 Overzicht van locatiebezoeken

Datum	Locatie	Doel
Vrijdag 27 maart '15	Station Diemen	Visuele inspectie, verzamelen van feiten, houden van interviews
Zaterdag 28 maart '15	Station Diemen	Verzamelen van beveiligingsdata, houden van interviews
Woensdag 8 april '15	Station Diemen	Verificatie van analyse
Zaterdag 11 april '15	Station Diemen	Verificatie van analyse door metingen en visuele inspecties

Tabel 3-2 Overzicht van gehouden interviews met TenneT medewerkers

Datum	Locatie	Doel	Medewerker TenneT
Vrijdag 27 maart '15	Station Diemen	Verzamelen van feiten en gebeurtenissen uit de eerste hand	Werkverantwoordelijke Technisch specialist
Zaterdag 28 maart '15	Station Diemen	Informatie verzamelen over de aard en de werking van de stations beveiliging	Technisch specialist
Maandag 30 maart '15	Hoofdkantoor TenneT	Toelichting SCADA event lijst	SCADA specialist
Dinsdag 7 april '15	Hoofdkantoor TenneT	Toelichting stations-beveiliging	Beveiligingsspecialist
Maandag 20 april '15	Kantoor TenneT	Interview met WV Beluisteren van op de dag van de storing opgenomen gesprekken tussen WV en LBC	Werkverantwoordelijke

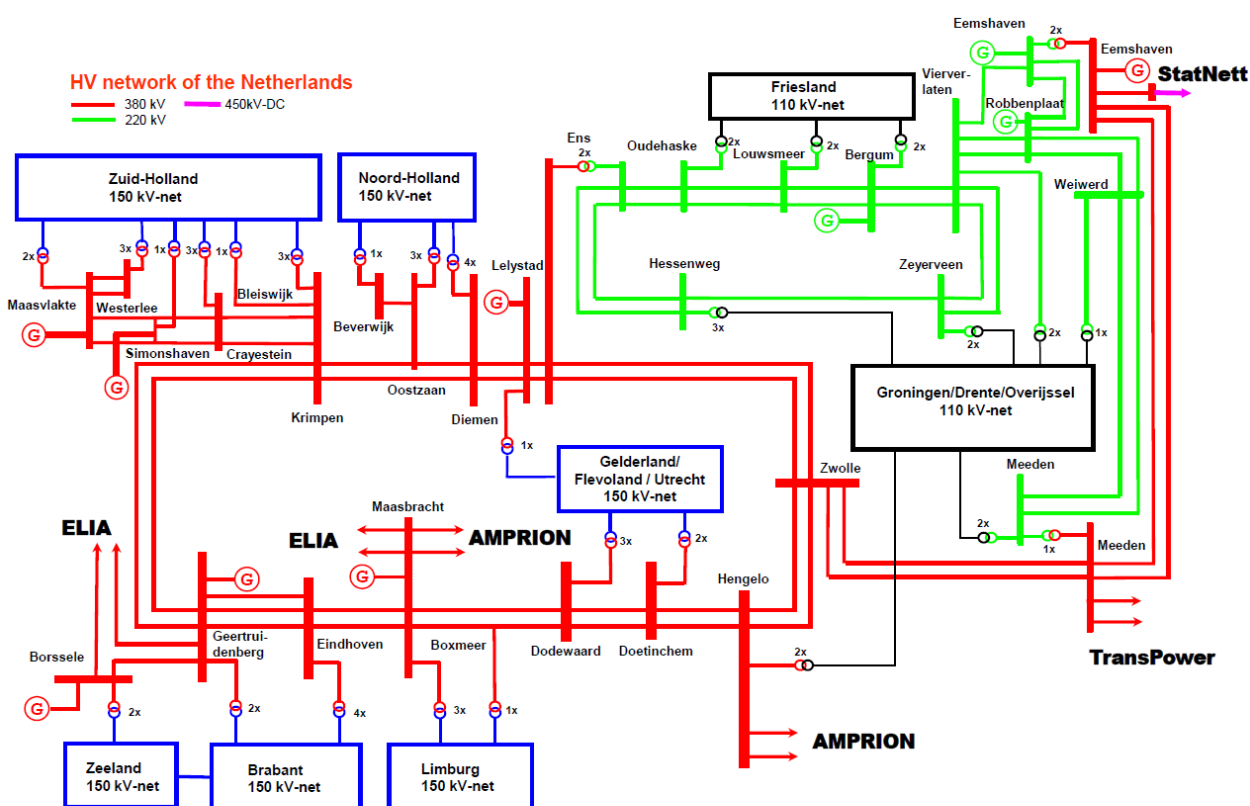
4 380 kV NETWERK EN STATION DIEMEN

4.1 Station Diemen en het 380 kV netwerk

Het 380 kV-station Diemen is onderdeel van de 380 kV ring van het Nederlandse hoogspanningsnet. Station Diemen is verbonden met:

- 380 kV-station Krimpen a/d IJssel (enkel circuit)
- 380 kV-station Oostzaan (enkel circuit)
- 380 kV-station Lelystad (dubbel circuit)
- 150 kV-netwerk van Noord-Holland (vier circuits)
- NUON opwekstation Diemen 34.

Het Nederlandse hoogspanningsnet is schematisch weergegeven in Figuur 4-1.



Figuur 4-1 Overzicht van het Nederlandse hoogspanningsnetwerk

4.2 Primaire installatie

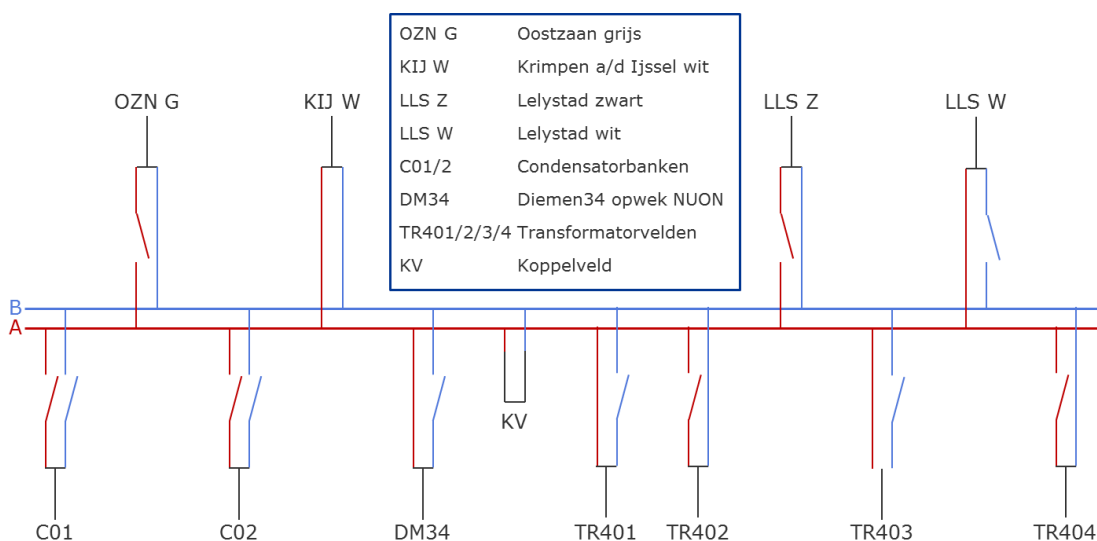
Het 380 kV-station Diemen is eind jaren zestig gebouwd en op 24 juni 1970 definitief in bedrijf genomen. Het is een openluchtstation dat is uitgerust met een dubbel railsysteem met een enkel koppelveld. Het station is zodanig ontworpen en beveiligd dat bij normale bedrijfsvoering een enkelvoudige storing niet tot volledige uitval van het station leidt.

Kenmerkend voor stations van deze generatie is dat de lijnvelden zich boven de hoofd railsystemen bevinden (men spreekt van een "dak-net"). Het station kent twaalf velden:

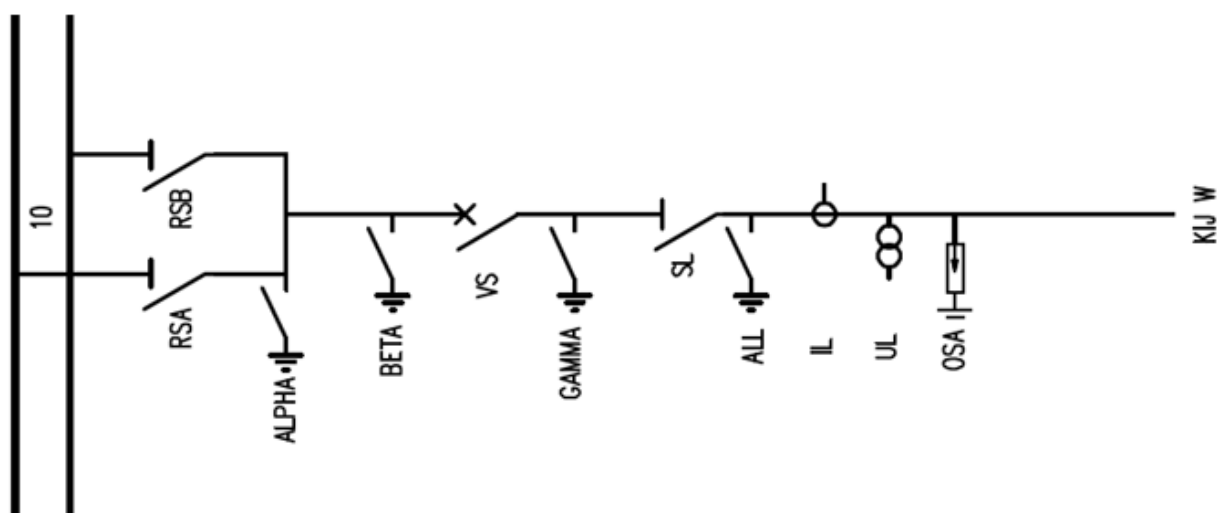
- vier lijnvelden voor verbindingen met andere 380 kV-stations (genaamd Krimpen a/d IJssel wit, Oostzaan grijs, Lelystad zwart en Lelystad wit)

- vier transformatorvelden (genaamd TR401, 402, 403 en 404) voor verbindingen met het 150 kV hoogspanningsnet van Noord-Holland (waarmee het distributienet van Liander wordt gevoed)
- twee velden met condensatorbanken (genaamd C01 en C02, die ten tijde van de storing niet in bedrijf waren)
- één veld dat verbonden is met het NUON-opwekstation DM34
- één koppelveld.

Onderstaande figuren geven een overzicht van de velden van station Diemen, en een 1-lijn-schema van lijnveld KIJ W waarin de storing plaatsvond.



Figuur 4-2 Overzicht van de velden van station Diemen. De storing vond plaats in lijnveld KIJ W



Figuur 4-3 Het 1-lijn-schema van lijnveld KIJ W

4.3 Secundaire installatie

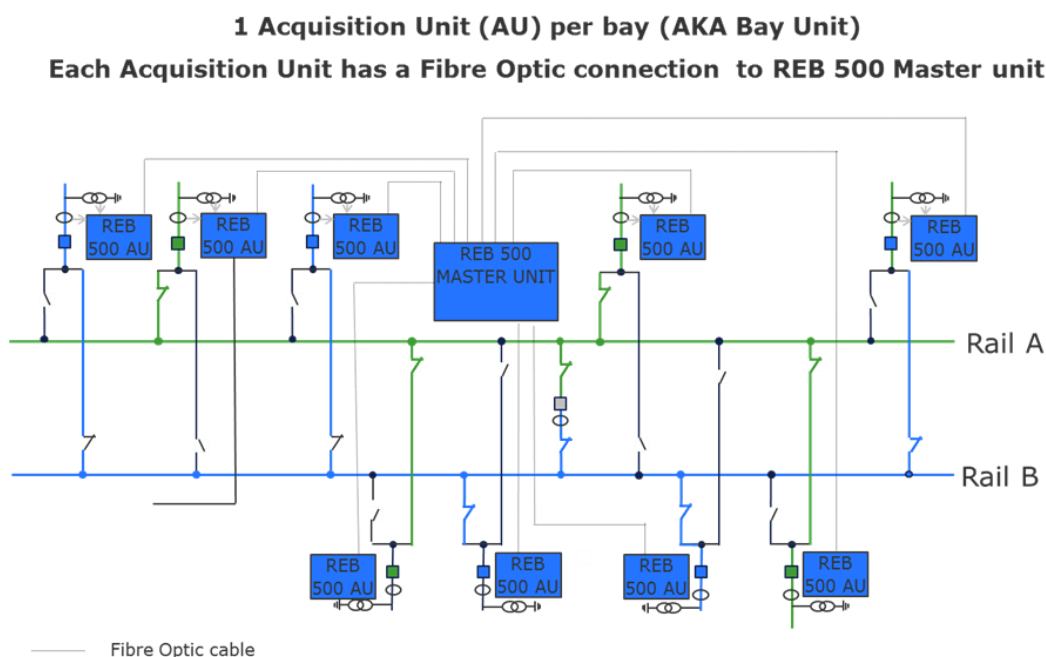
De secundaire installatie is verantwoordelijk voor de besturing, signalering en de beveiliging van het station. Alle schakelaars en scheiders kunnen op afstand bediend worden, aangestuurd door middel van relais. De actuele toestand (positie) wordt gemonitord met behulp van stand-melders. Het station kan bestuurd worden vanuit het LBC ("verre besturing") of vanuit het controlecentrum op het station ("afstandsbesturing"). Daarnaast kunnen vermogensschakelaars, railscheiders en aarders bediend worden vanuit het bedieningspaneel in het veld ("lokale besturing") en, indien nodig, met de hand.

Alle stand-meldingen en schakelhandelingen worden geregistreerd in het SCADA-systeem, evenals alle commando's gegeven door het LBC. Daarnaast worden gebeurtenissen en handelingen die betrekking hebben op beveiliging geregistreerd door het beveiligingssysteem. Beide systemen slaan informatie op in "event lists" (lijsten met gebeurtenissen) en "fault / disturbance records" (opnamen van stroom en spanning tijdens foutsituaties). De tijdaanduiding van het SCADA-systeem is niet gesynchroniseerd met het individuele beveiligingsrelais. Dit vraagt om extra aandacht wanneer event lists van beide systemen worden vergeleken.

4.4 Beveiliging

4.4.1 Railbeveiliging

Het railsysteem van 380 kV-station Diemen wordt beveiligd door een separate railbeveiliging. Het betreft een beveiliging van het fabricaat ABB, type REB 500. De railbeveiliging is ongeveer 18 jaar oud. De railbeveiliging bestaat uit een centrale "master unit" en decentrale "field units" (ook wel "acquisition units" genoemd) in elk veld. Het REB 500 systeem is door middel van stand-melders gekoppeld aan de railscheider-circuits, hiermee bepaalt de railbeveiliging welk circuit is gekoppeld met welk railsysteem. Deze opbouw is schematisch weergegeven in figuur 4-4.



Figuur 4-4 Schematisch opbouw van de railbeveiliging van station 380 kV Diemen

4.4.2 Overige beveiligingen

Elk veld van het 380 kV-station Diemen is voorzien van eigen beveiligingen:

- Elk transformatorveld heeft een transformator-differentiaalbeveiliging, een minimum impedantiebeveiliging, een minimum spannings-beveiliging en een railbeveiliging acquisition-unit (zoals vermeld in paragraaf 4.4.1).
- Elk lijnveld heeft een langs differentiaalbeveiliging, een distantie beveiliging en een railbeveiliging acquisition-unit (zoals vermeld in paragraaf 4.4.1).
- Het koppelveld heeft een overstroom-beveiligingsrelais dat enkel actief is tot 2 seconden na het sluiten van de vermogensschakelaar van het koppelveld. Tijdens normaal bedrijf is deze beveiliging niet actief.

Opgemerkt is dat relevante beveilig-relais zijn afgelezen en de data ervan door DNV GL geanalyseerd voor het onderzoek.

5 VERKREGEN INFORMATIE EN VERZAMELDE FEITEN

5.1 Beschrijving van de storing

De storing op 27 maart 2015 in 380 kV-station Diemen is ontstaan tijdens een functionele test van railscheider RSA in het lijnveld KIJ W. De functionele test werd uitgevoerd omdat het zogenaamde HARA-relais van railscheider RSA op 26 maart 2015 was vervangen. Dit relais signaleert of de A rail al dan niet geaard is, en wordt door het vergrendelingssysteem gebruikt om te voorkomen dat kan worden ingeschakeld op een geaarde rail.

Voorafgaand aan de test stonden rail A, rail B en het lijnveld KIJ W onder spanning. Voor het uitvoeren van de test werd allereerst railscheider RSB ingeschakeld, en vervolgens railscheider RSA uitgeschakeld. Deze handeling wordt ook wel beschreven als het "schuiven van belasting" van rail A naar rail B. Tijdens deze handeling is de verbinding KIJ W gedurende korte tijd verbonden met zowel rail A als rail B. Opgemerkt wordt dat dit een gebruikelijke handeling is.

Een vergrendelvoorwaarde om railscheider RSA veilig te mogen openen is dat railscheider RSB volledig "IN" staat, dat wil zeggen dat alle drie polen verbonden zijn met rail B. Deze voorwaarde wordt bewaakt met het stand-meldings-relais van railscheider RSB. Tijdens het inschakelen van railscheider RSB is door het LBC geconstateerd dat het stand-melding-relais van railscheider RSB fase 4 de melding "TUSSEN STAND" bleef geven. Deze melding geeft aan dat de eindstand niet was bereikt. Hierdoor werd het openen van railscheider RSA verhinderd door het vergrendelingssysteem, en ontstond de ongewenste situatie dat de railsystemen A en B via lijnveld KIJ W met elkaar verbonden bleven.

De ten tijde van de storing op 380 kV-station Diemen aanwezige werkverantwoordelijke en technische specialist hebben in overleg met het LBC besloten om naar de oorzaak van de "TUSSEN STAND"-melding te zoeken. De werkverantwoordelijke heeft visueel waargenomen dat railscheider RSB van het lijnveld KIJ W "IN" staat. De technische specialist heeft in de secundaire installatie gemeten dat de stand-meldings-contacten van railscheider RSB fase 4 geen verbinding maakten. Om die redenen zijn tijdelijk de bewuste stand-meldings-contacten overbrugd, resulterend in een "IN" melding in het LBC. Hierdoor werd de vergrendelvoorwaarde voor het openen van railscheider RSA opgeheven. Vervolgens heeft het LBC het commando "uitschakelen" gegeven om railscheider RSA te openen. Tijdens het uitschakelen van railscheider RSA is een kortsluiting opgetreden, en is de railbeveiliging aangesproken. Hierdoor zijn alle verbindingen van beide railsystemen A en B afgeschakeld, en werd het station spanningsloos.

Opgemerkt wordt dat wanneer beide railscheiders langer dan 5 minuten gesloten zijn, een signaal wordt gegenereerd voor het SCADA-systeem omdat een blijvende koppeling van railsystemen A en B middels de railscheiders van een lijnveld ongewenst is met het oog op de beveiliging van het station.

5.2 Betrokken veld en componenten

De storing voltrok zich in lijnveld KIJ W. Het deel van de primaire installatie dat betrokken was bij de storing, de railscheider RSA, is een 380 kV pantograaf scheider met de volgende karakteristieken:

- Fabricaat : Siemens
- Type : H287I – 380NE/3000 – 135 – M
- Nominale Spanning (Un) : 380 kV
- Nominale stroom (In) : 3000 A
- Kortsluitstroom (Idyn) : 135 kA
- Kortsluitstroom (Itherm) : 53 kA – 1s
- Bouwjaar : 1967

5.3 Inspecties en metingen

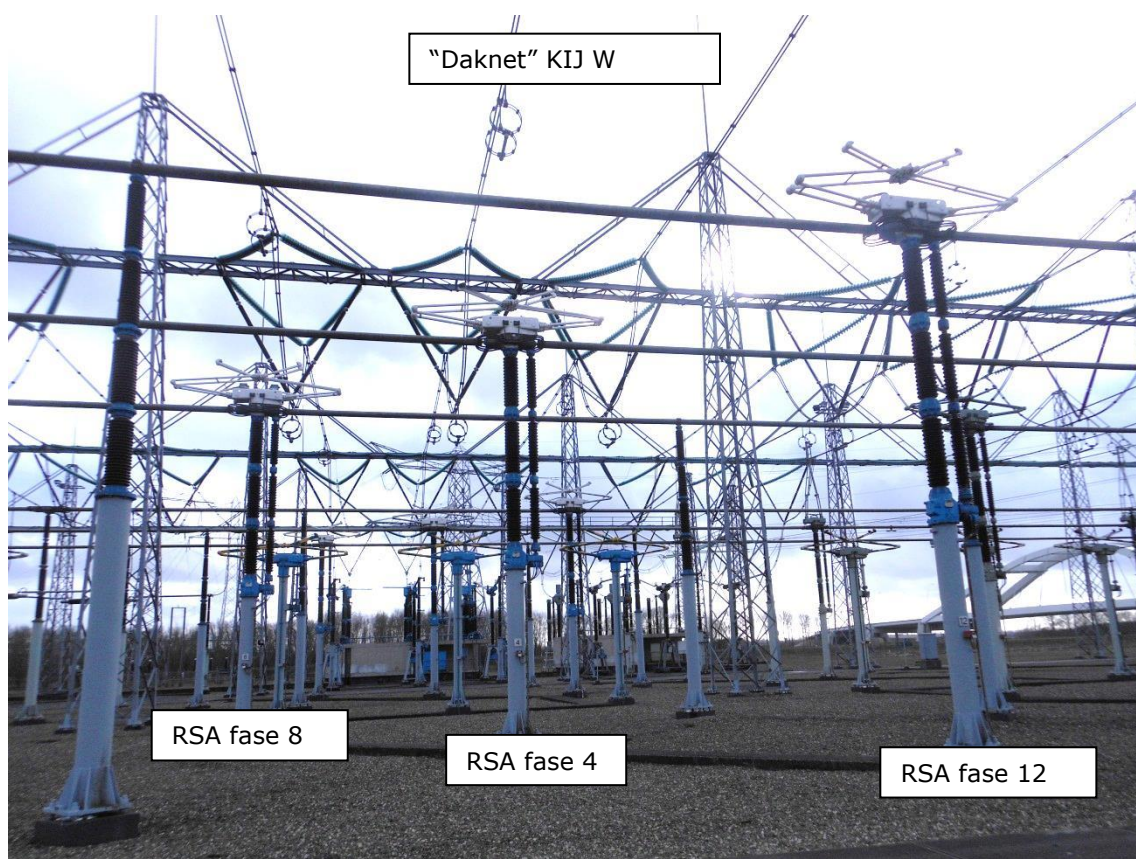
Voor het verzamelen van informatie en feiten betreffende de storing die op 27 maart 2015 is opgetreden op het 380 kV-station Diemen, heeft DNV GL drie bezoeken aan dit station gebracht. Deze bezoeken zijn vermeld in Tabel 3-1. In de volgende paragrafen worden de relevante resultaten van de inspecties en metingen gepresenteerd.

5.3.1 Eerste inspectie na de storing

Na het optreden van de uitval hebben de werkverantwoordelijke en de technische specialist de werkzaamheden gestaakt, en hebben zij de procedure gestart om de fout op te sporen en te verhelpen. Nadat de fout was gelokaliseerd en geïsoleerd, is station Diemen weer onder spanning gebracht, met uitzondering van het lijnveld KIJ W, waarin de storing is opgetreden. Vervolgens hebben DNV GL en TenneT gezamenlijk een uitgebreide visuele inspectie uitgevoerd op het station. Hierbij zijn de volgende feitelijke waarnemingen vastgesteld:

- de betreffende railscheiders RSA en RSB maken onderdeel uit van het lijnveld KIJ W;
- de standen van de primaire componenten in lijnveld KIJ W zoals bij de inspectie aangetroffen waren als volgt:
 - de railscheiders RSA en RSB staan in de “UIT” stand
 - de vermogensschakelaar VS van het lijnveld KIJ W staat in de “UIT” stand
 - de lijnscheider LS van het lijnveld KIJ W staat in de “UIT” stand
 - de aarding ALFA, GAMMA en ALL van lijnveld KIJ W staan in de “IN” stand
- in de secundaire installatie is een fysieke overbrugging (met een draad) aangetroffen in het standmeldings-contact van railscheider RSB fase 4
- er zijn sporen van een vlamboog geconstateerd op de contactkappen van railscheider RSA fase 4
- er zijn sporen van een vlamboog geconstateerd op het “daknet” van lijnveld KIJ W fase 4
- er zijn sporen van een vlamboog geconstateerd op het “daknet” van lijnveld KIJ W fase 8.

Figuur 5-1 geeft een visuele weergave van railscheider RSA in het lijnveld KIJ W.



Figuur 5-1 Overzicht van het lijnveld KIJ W. Op de voorgrond zijn de pantografen van railscheider RSA te zien

5.3.2 Nadere visuele inspecties

Na de eerste visuele inspectie op de dag van de storing (27 maart 2015) zijn op 8 en 11 april 2015 nadere inspecties uitgevoerd aan het gehele 380 kV-station, de rails A en B, en de geleiders van het zogenaamde "dak-net" (afgaande velden en koppelveld). Hierbij is alleen in lijnveld KIJ W schade geconstateerd. In deze paragraaf wordt het schade-beeld beschreven aan de hand van de relevante foto's.

In het navolgende wordt verwezen naar vlamboogen en voetpunten. Een vlamboog is een ontlading in een gas (in dit geval: lucht) van zeer hoge temperatuur. Door de hoge temperatuur is het gas deels geïoniseerd en geleidend. De vlamboog vormt een geleidend pad en kan een stroom geleiden. De plaats waar de vlamboog contact maakt met de metalen stroom-voerende delen noemen we het voetpunt. Voetpunten kunnen herkend worden aan de schade die ontstaat door sterke lokale verhitting.

DNV GL heeft de volgende observaties gedaan:

- voetpunten van een vlamboog zijn waargenomen op de primaire contacten van railscheider RSA fase 4 van lijnveld KIJ W (zie de foto's in Tabel 5-1):
 - een voetpunt op de coronakap die zich bevindt aan de zijde van fase 12
 - een voetpunt op de coronakap die zich bevindt aan de zijde van fase 8
 - de schade gevonden op de coronakap aan zijde fase 8 is groter dan de schade op coronakap aan zijde van fase 12
- voetpunten zijn gevonden op het primaire tegen-contact van railscheider RSA fase 4 van lijnveld KIJ W (zie de foto's in Tabel 5-1)

- voetpunten op de buis tussen twee halters (contactvlak met primaire contacten van de scheider)
 - voetpunten op één van beide halters, aan de zijde gelegen tegenover fase 8
- voetpunten zijn gevonden op het dak-net van fase 8 dat zich bevindt aan de zijde van fase 4 (zie de foto's in Tabel 5-2)
- voetpunten zijn verspreid over een lengte van 2 tot 3 meter
 - kleine smeltsporen zijn gevonden
- in het secundaire systeem is een galvanische overbrugging aangetroffen waarbij de contacten 108 en 109 van het stand-meldings-contact van fase 4 van railscheider RSB door middel van een draad waren verbonden (zie de foto's in Tabel 5-3)
- de overbrugging is voorzien van een label.

Anders dan de in Tabel 5-1, 5-2 en 5-3 getoonde bevindingen zijn in het lijnveld KIJ W geen opvallende of afwijkende zaken waargenomen.

Tabel 5-1 Bevindingen visuele inspectie scheider fase 4 van lijnveld KIJ W

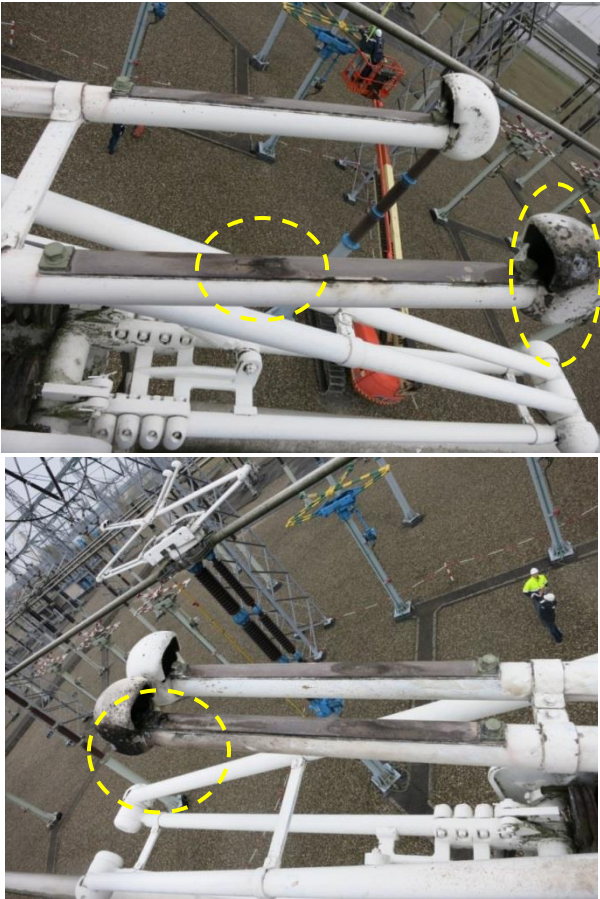
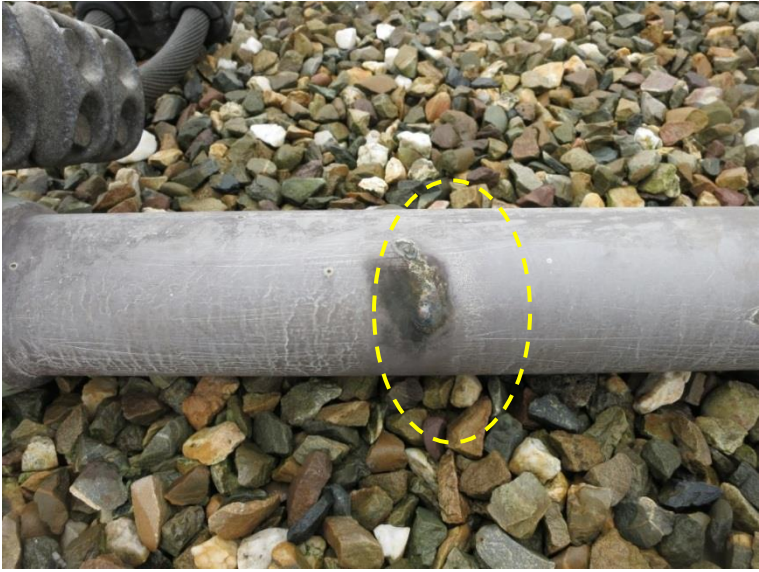
Foto	Opmerking
 The top photograph shows a close-up of a horizontal metal rail with a yellow dashed circle highlighting a dark, irregular mark. The bottom photograph shows a similar rail from a different angle, with a yellow dashed circle highlighting a dark, irregular mark. Both images show complex electrical infrastructure with various pipes and components.	Aan beide zijden van het beweegbare contact zijn 3 duidelijke voetpunten (vlamboom sporen) zichtbaar: – op twee, tegenover elkaar gelegen coronakappen; – op een van de contactvlakken.

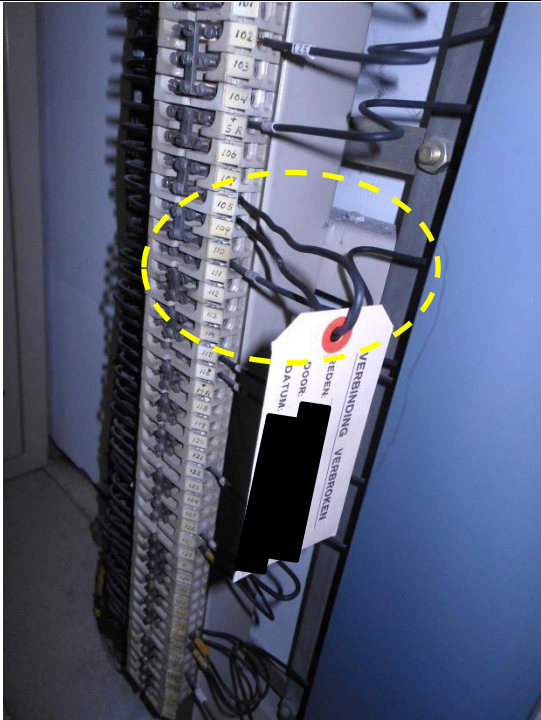
Foto	Opmerking
	Voetpunt op de coronakap die zich aan de zijde van fase 12 bevindt.
	Voetpunt op de coronakap die zich aan de zijde van fase 8 bevindt.
	Op het tegencontact van railscheider RSA fase 4 zijn de volgende voetpunten zichtbaar: – op de buis tussen de twee halters op één van beide halters, aan de zijde welke gelegen is tegenover fase 8 – detail foto's van beide voetpunten worden hieronder gegeven

Foto	Opmerking
	Voetpunt op buis tussen de twee halters van het tegencontact.
	Voetpunten op één van de beide halters. De voetpunten bevinden zich op de zijde van de halter welke gelegen is tegenover fase 8.

Tabel 5-2 Bevindingen visuele inspectie van het dak-net van fase 8 van lijnveld KIJ W

Foto	Opmerking
	Op het dak-net van fase 8 is aan de zijde welke gelegen is tegenover fase 4, over een lengte van circa 2 tot 3 meter een groot aantal kleine smeltsporen gevonden. Van enige afstand hebben deze voetpunten het uiterlijk van lichte verkleuringen.
	Representatieve detailopnames van de waargenomen voetpunten.

Tabel 5-3 Visuele inspectie standmeldings-circuit railscheider RSB fase 4 lijnveld KIJ W

Foto	Opmerking
	Overbrugging met een draad tussen contact 108 en 109 van het standmeldings-contact van fase 4 van railscheider RSB. De overbrugging is voorzien van een label (de informatie op de label is onleesbaar gemaakt vanwege de vertrouwelijke informatie).

5.3.3 Metingen en tests

Om in de analyse (beschreven in Hoofdstuk 7) faalscenario's te kunnen identificeren en valideren (bevestigen dan wel ontkrachten) zijn diverse metingen en tests uitgevoerd. Dit betreft:

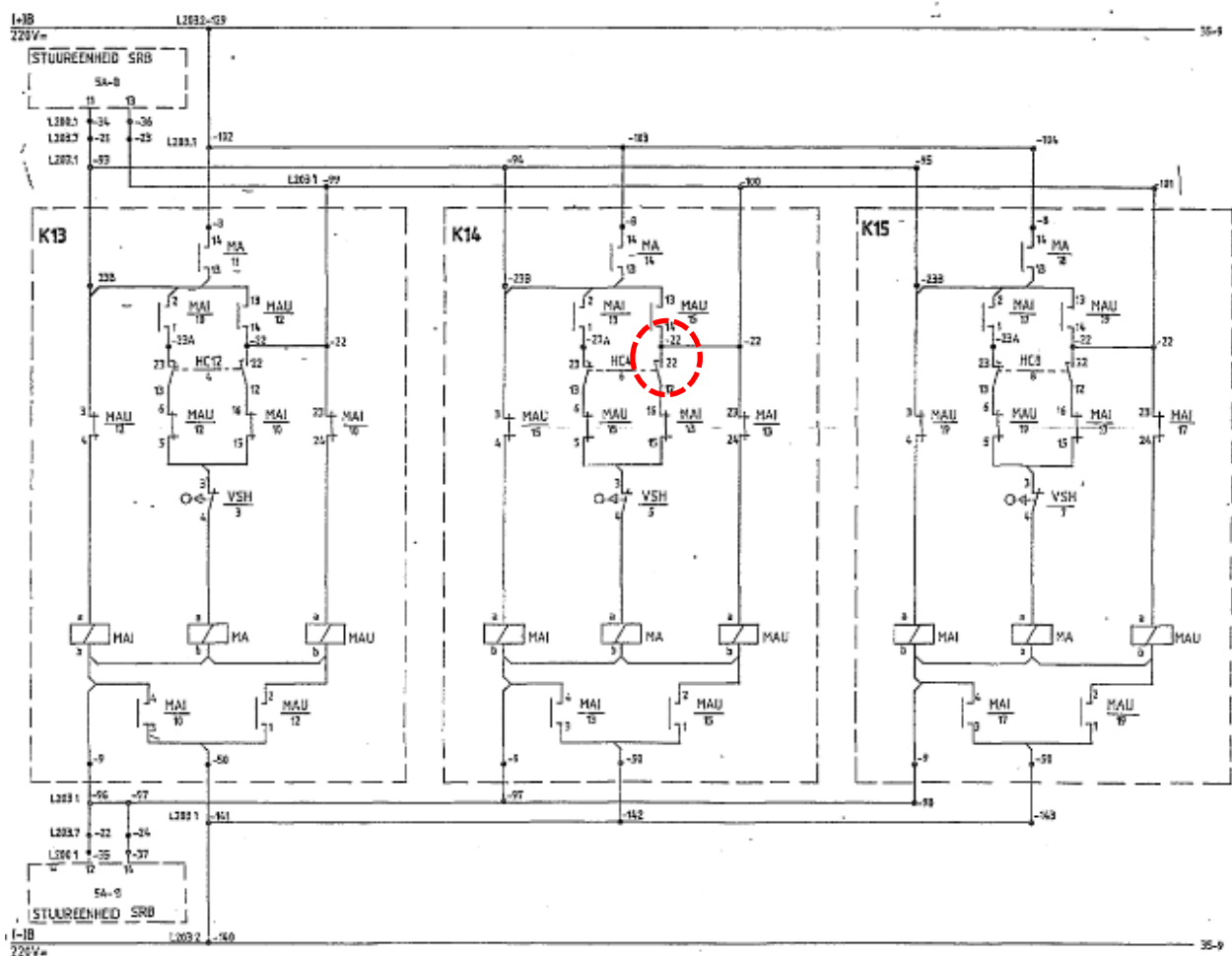
- Metingen aan de secundaire installatie van lijnveld KIJ W
- Metingen omtrent het "zelfstandig zakken" van railscheiders RSA en RSB.

5.3.3.1 Metingen aan de secundaire installatie van lijnveld KIJ W

Om de functionaliteit van het motorrelais van railscheider RSB in lijnveld KIJ W te onderzoeken, zijn hieraan enkele metingen verricht. Het stroomkringschema van het motorrelais van railscheider RSB is getoond in Figuur 5-2. Het motorrelais schakelt de voedingsspanning van de railscheider-aandrijfmotor en bevindt zich fysiek in een afgesloten compartiment op de paal van de railscheider in het lijnveld.

Elke fase heeft een eigen motor en een motorrelais. In figuur 5-2 zijn de drie afzonderlijke circuits omkaderd:

- K13: motorrelaiskast railscheider RSB fase 12
- K14: motorrelaiskast railscheider RSB fase 4
- K15: motorrelaiskast railscheider RSB fase 8.



Figuur 5-2 Stroomkringschema motorrelais' KIJ W railscheider RSB

Op basis van de metingen heeft DNV GL de volgende bevindingen gedaan:

- Tijdens de metingen is gebleken dat de weerstandswaarde van de bekrachtigingsspoelen MA en MAU in motorrelaiskast K14 (railscheider RSB fase 4), duidelijk afwijkt (circa de halve weerstand) van de andere weerstandswaarden, gemeten op de vergelijkbare punten in motorrelaiskasten K13 en K15 (railscheider RSB fase 8 en RSB fase 12).
- Uit de metingen blijkt dat na een inschakelbevel een spanning aan de aandrijfmotor in fase 4 van railscheider RSB wordt aangeboden, maar dat de motor niet in beweging komt.
- Tussen de contacten 22-12 (in figuur 5-2 rood omcirkeld) van de contactwals (railscheider RSB fase 4) is een galvanische verbinding gemeten, waar juist een onderbreking verwacht werd. Dit contact zou in rust in de "verbreek"-stand zou moeten staan.

De betekenis hiervan voor de opgetreden storing wordt in de analyse (Hoofdstuk 7) beschreven.

5.3.3.2 "Zelfstandig zakken"-test railscheiders RSA en RSB

Om vast te stellen of railscheiders RSA en RSB in het lijnveld KIJ W zelfstandig naar beneden zakken indien de motorspanning wordt weggenomen terwijl de scheider zich in een tussenstand bevindt, is dit in drie verschillende varianten nagebootst:

- 1 De railscheider wordt in de tussenstand gebracht, vervolgens wordt deze toestand gedurende 25 minuten gehandhaafd (uitgevoerd met railscheider RSA fase 8 en 12 en met railscheider RSB fase 4, van lijnveld KIJ W).
- 2 De railscheider wordt in de tussenstand gebracht, vervolgens wordt op het kniegewricht van elk van de twee armen een horizontale, naar buiten gerichte kracht uitgeoefend (uitgevoerd met railscheider RSA fase 8, lijnveld KIJ W).
- 3 De railscheider wordt in de tussenstand gebracht, vervolgens wordt op het kruisgewricht tussen beide armen een verticale, naar beneden gerichte kracht uitgeoefend (uitgevoerd met railscheider RSB fase 4, lijnveld KIJ W).

In geen van deze situaties kon het zelfstandig naar beneden zakken worden gereproduceerd. De uitgebreide beschrijving en de betekenis hiervan voor de opgetreden storing wordt in de analyse (Hoofdstuk 7) beschreven. Opgemerkt wordt dat dit resultaat in overeenstemming is met het ontwerp van de railscheider. In de aandrijving wordt namelijk gebruik gemaakt van een wormwiel en dat heeft een zelf-remmende werking.

5.4 Informatie uit interview met de werkverantwoordelijke

Op maandag 20 april is een interview gehouden met de werkverantwoordelijke (WV) ten tijde van de storing in 380 kV-station Diemen. Uit het gespreksverslag zijn hieronder drie bevindingen weergegeven die relevant zijn voor het verloop van de storing.

- De WV geeft aan op 27 maart 2015 vóór de storing visueel gecontroleerd te hebben dat railscheider RSB na de “Tussenstand” melding fysiek volledig (drie fasig) “IN” stond. De WV geeft aan dat de waarneming vanaf het bordes van het veldhuisje is gedaan, en dat hij als enige de waarneming heeft gedaan¹.
- De WV geeft aan op 27 maart 2015 na de storing visueel geconstateerd te hebben dat fase 4 van railscheider RSB fysiek in de stand “UIT” stond en dat fasen 8 en 12 fysiek in de stand “IN” stonden. De WV geeft aan dat hij tijdens deze waarneming in het veld stond.
- De WV geeft aan dat er onvoldoende tijd beschikbaar was om de werkinstructie “tijdelijk aanpassen van de meldingssignalerings” te volgen.

5.5 Inspectie gefaalde motor railscheider RSB

Bij de nadere inspecties is gebleken dat de aandrijfmotor van railscheider RSB defect was. De defecte motor is tussen 16 en 21 april 2015 nader onderzocht bij DNV GL in Arnhem. Tijdens dit onderzoek is de motor gedemonteerd en zijn alle hoofdcomponenten visueel geïnspecteerd. Daarnaast zijn elektrische metingen uitgevoerd. Er is een aantal mogelijke faaloorzaken bepaald waarvan de waarschijnlijkheid is geanalyseerd. Onderstaande conclusie is gebaseerd op de bevindingen en de meetresultaten.

De meest waarschijnlijke oorzaak van het falen van de motor is dat deze gedurende enige tijd met geblokkeerde rotor onder spanning is blijven staan, mogelijk als gevolg van het niet uitschakelen van de motorstroom bij het bereiken van een eindstand. Deze tijd wordt geschat op tussen 5 en 30 minuten, waarbij deze periode niet aaneengesloten hoeft te zijn; het kan ook als cumulatief effect ontstaan zijn.

¹ Dit betekent dat het 4-ogen principe niet is toegepast.

6 RECONSTRUCTIE VAN DE TIJDLIJN

In dit hoofdstuk worden de gebeurtenissen en handelingen voorafgaand aan, en tijdens de storing op 27 maart 2015, in chronologische volgorde gereconstrueerd. Bij de reconstructie is primair gebruik gemaakt van de informatie afkomstig van het SCADA-systeem en het beveiligingssysteem en van relevante delen uit de transcriptie van de gesprekken opgenomen op 27 maart 2015. Eerst wordt de tijdlijn besproken van handelingen voorafgaand aan de storing. In paragraaf 6.2 wordt de tijdlijn besproken van de storing zelf.

6.1 Tijdlijn voorafgaand aan de storing

De gebeurtenissen en handelingen die relevant zijn voor de storing op 27 maart 2015 beginnen op 21 maart 2015. De gebeurtenissen vanaf 21 maart 2015 tot aan de ochtend van 27 maart 2015 bepalen de uitgangssituatie voor de storing, en geven aan welke gebeurtenissen voorafgaand aan de storing mogelijk relevant zijn.

Tabel 6-1 geeft een overzicht van de relevante handelingen en gebeurtenissen in het lijnveld KIJ W van het 380 kV-station Diemen, met de opmerkingen van DNV GL.

Tabel 6-1 Tijdlijn van relevante handelingen en gebeurtenissen tussen 21 maart en 27 maart 2015

Datum	Handelingen / gebeurtenissen	Opmerkingen
21 maart 2015	Uitbedrijfname voorafgaand aan werkzaamheden aan het lijnveld van KIJ W - uitschakelen vermogensschakelaar (VS); - uitschakelen lijnscheider (LS); - uitschakelen railscheider RSA; (niet geslaagd) - inschakelen lijn-aarder (LA); – Inbedrijf name na afloop van werkzaamheden: - uitschakelen lijnaarder (LA); - inschakelen lijnscheider (LS); - inschakelen vermogensschakelaar (VS).	– TenneT heeft geconstateerd dat railscheider RSA van lijnveld KIJ W niet naar behoren functioneert. – Tijdens de werkzaamheden is railscheider RSA ingeschakeld gebleven
22 maart 2015	Uitbedrijfname voorafgaand aan werkzaamheden aan het lijnveld van KIJ W - uitschakelen vermogensschakelaar (VS); - uitschakelen lijnscheider (LS); – Onderzoek naar het achterhalen van het niet-functioneren van railscheider RSA – Inbedrijf name na afloop van werkzaamheden - inschakelen lijnscheider (LS); - inschakelen vermogensschakelaar (VS). – Mechanisch defect aan tijdrelais 'storing standmelding' waardoor melding te laat door kwam.	– TenneT heeft geconstateerd dat de bekrachtigingsspoel van het zogenaamde HARA-relais van railscheider RSA defect was. – In afwachting van reparatie en na toestemming van een toezichthoudende werkverantwoordelijke is railscheider RSA in "IN" stand geblokkeerd (door middel van een "tag") zodat deze alleen nog lokaal kan worden bediend – TenneT heeft besloten om het defect aan tijdrelais 'storing standmelding' later op te pakken samen met het voorgaande probleem van het HARA-relais.

Datum	Handelingen / gebeurtenissen	Opmerkingen
25 maart 2015	- Vervangen van bekrachtigingsspoel HARA-relais; - Inschakelen railscheider RSB; - Uitschakelen railscheider RSB.	- Na vervanging van de bekrachtigingsspoel van het HARA-relais heeft TenneT geconstateerd dat de contacten van dit relais in een slechte conditie verkeerden (metaalmoeheid). Hierop is besloten om het HARA-relais compleet te vervangen. De vervanging is gepland voor donderdag 26 maart. - Railscheider RSA is (na vervanging van het HARA-relais) niet uitgeschakeld.
26 maart 2015	- Het HARA-relais is ingebouwd en getest. - Het tijdrelais 'storing standmelding', waaraan op 22 maart een defect werd geconstateerd is vervangen.	- Gedurende de test heeft TenneT geconstateerd dat het relais goed werkt. - Afronding van de werkzaamheden en functionele test van railscheider RSA is gepland voor vrijdag 27 maart.

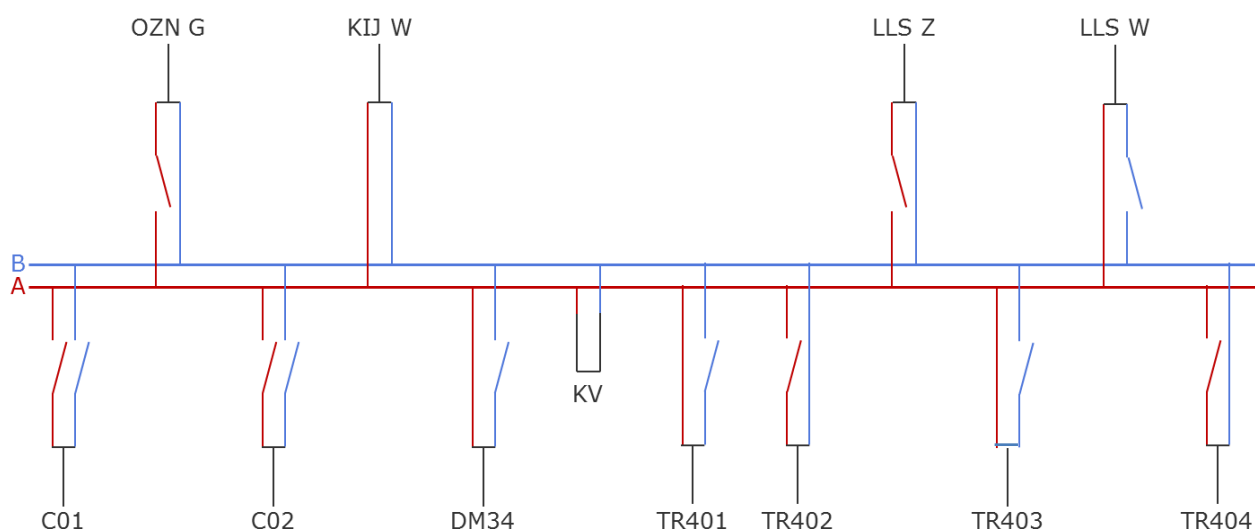
6.2 Tijdlijn tijdens de storing

Na de werkzaamheden op 26 maart 2015 is een functionele test gepland voor 27 maart 2015. De functionele test houdt in dat railscheider RSA van het lijnveld KIJ W vanuit het LBC wordt uitgeschakeld en vervolgens weer wordt ingeschakeld.

Door voorafgaand aan de test railscheider RSB in te schakelen, is het mogelijk om de verbinding KIJ W gedurende de test in bedrijf te houden. De belastingstroom die voor schakelen door railscheider RSA vloeit, zal dan bij openen van railscheider RSA vrijwel spanningsloos overgaan (commuteren) naar de parallel geschakelde railscheider RSB. Dit is een gebruikelijke en regelmatig toegepaste operationele handeling die ook wel "belasting schuiven" wordt genoemd.

6.2.1 Uitgangssituatie

Voorafgaand aan de test met railscheider RSA van het lijnveld KIJ W, stond station Diemen geschakeld zoals weergegeven in Figuur 6-1. Opgemerkt wordt dat dit de normale bedrijfssituatie van 380 kV-station Diemen is.



Figuur 6-1 Netconfiguratie DIM380 op 27 maart 2015 vóór het schakelen met railscheider RSB van KIJ W

6.2.2 Gebeurtenissen

De tijdlijn van de relevante gebeurtenissen op 27 maart 2015 is weergegeven in Tabel 6-2. Hierbij zijn citaten uit de transcriptie van de gespreksopnamen, waar toepasselijk, opgenomen. De tijdstippen afkomstig uit het REB500-systeem zijn niet synchroon met de tijdstippen uit het SCADA-systeem en zijn in de tabel weergegeven met een doorhaling, en in de tijdlijn gecorrigeerd.

Tabel 6-2 Tijdlijn van relevante gebeurtenissen DIM380 KIJ W op 27 maart 2015

Tijd	Gebeurtenis	Resultaat
9:18:48	LBC: RSB Inschakelen	
9:18:50		KIJ W: RSB Tussenstand
10:31:49		REB500: RSB Closed
9:19:25	Telefoon (DIM380 - opzichter): 'wat voor stand heb jij nu'	Telefoon (LBC - senior bedrijfsvoerder): 'even kijken ik heb nog steeds een tussenstand'
9:19:28		KIJ W: RSB FAILED TO OPERATE ²
9:19:33	Telefoon (DIM380 - opzichter): 'tussenstand oké nou goed hij staat hier goed hoor'	Telefoon (LBC - senior bedrijfsvoerder): 'even kijken nou krijg ik een meldinkje moment hoor'
9:19:44	Telefoon (DIM380 - opzichter): 'ik denk dat je een opvolg fout krijgt'	

² De standmeldingen van railscheider RSB die worden geregistreerd door SCADA-systeem en railbeveiliging komen niet met elkaar overeen; het SCADA-systeem registreert dat railscheider RSB het inschakelbevel niet correct heeft opgevolgd (scheider is gestart maar heeft 40 seconde later nog geen eindstand bereikt) terwijl de railbeveiliging registreert dat railscheider RSB is ingeschakeld.

Tijd	Gebeurtenis	Resultaat
		Telefoon (LBC - senior bedrijfsvoerder): <i>'ik krijg een fail to operate. Dat betekent vaak dat hij een te lange looptijd heeft maar hij blijft in tussenstand staan en dan krijg ik een een bedienmelding onklaar'</i>
	Telefoon (DIM380 - opzichter): <i>'ja ja hartstikke goed. We gaan nu nog even kijken (...).'</i>	
		Telefoon (LBC - senior bedrijfsvoerder): <i>'ja oké tot zo'</i>
9:21:00	KIJ W: RSA Blokkeren OFF	
9:26:56		KIJ W: RSB Ingeschakeld
9:27:29		KIJ W: RSB Tussenstand
9:31:39		KIJ W: RSB Ingeschakeld ³
9:37:10	Telefoon (DIM380 - opzichter): <i>'(...) van in Diemen van het veld Krimpen-Wit heb jij nou van de 380 kV B railscheider goeie instand?'</i>	
		Telefoon (LBC - senior bedrijfsvoerder): <i>'ja ik heb in Diemen van Krimpen-Wit een instand van railscheider B'</i>
9:37:29	Telefoon (DIM380 - opzichter): <i>'B oké zou jij nou van mij van in Krimpen-Wit in Diemen de A railscheider van de 380 kV willen uitschakelen?'</i>	
		Telefoon (LBC - senior bedrijfsvoerder): <i>'in Diemen ga ik van Krimpen-Wit railscheider A uitschakelen'</i>
9:37:44	LBC: RSA Uitschakelen	
9:37:46		KIJ W: RSA Tussenstand
9:37:52		DM34: UIT-Bevel Rail Bev. P1
9:37:52		DM34: UIT-Bevel Rail Bev. P2 OP
9:37:53		ALG BV: fase 12 uitsch
9:37:53		ALG BV: fase 4 uitsch
9:37:53		ALG BV: fase 8 uitsch
9:37:54		OZN-G: VS UIT
9:37:54		KIJ W: VS UIT
9:37:54		LLS-w: VS UIT
9:37:54		LLS-Z: VS UIT
9:37:54		KV: VS UIT
9:37:54		TR401: 380 VS UIT
9:37:54		TR402: 380 VS UIT
9:37:54		TR403: 380 VS UIT
9:37:54		TR404: 380 VS UIT
9:37:54		KIJ W: RSA Uitgeschakeld
10:50:51		REB500: RSA Open
9:38:41	Telefoon (LBC - bedrijfsvoerder): <i>'oké. Kun je buiten kijken of alle scheiders goed in staan? Wij schakelen nu niet (...).'</i>	
-		Telefoon (DIM380 - opzichter): <i>'uh nee in uh wat is het geval in het veld Diemen Wit'</i>
9:40:37	Telefoon (LBC - bedrijfsvoerder): <i>'ja'</i>	

³ De door het SCADA-systeem geregistreerde standmelding van railscheider RSB laat onvoorspelbaar gedrag zien; zonder bevel gaat de scheider van een ingeschakelde stand naar de tussenstand en 4 seconde later, wederom zonder bevel, terug naar de ingeschakelde stand. De door de railbeveiliging geregistreerde standmelding van railscheider RSB verandert echter niet.

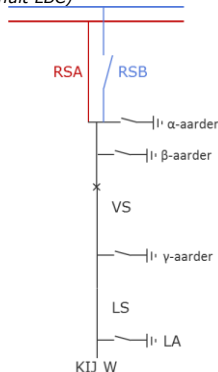
Tijd	Gebeurtenis	Resultaat
		Telefoon (DIM380 - opzichter): 'dat van de, even kijken, de A, B railscheider staat er een poot naar beneden en 2 poten staan omhoog'
	Telefoon (LBC - bedrijfsvoerder): 'B railscheiders 1 poot naar beneden en 2 poten staan omhoog'	
		Telefoon (DIM380 - opzichter): 'ja die naar beneden is fase 4'
	Telefoon (LBC - bedrijfsvoerder): 'B scheider 1 laag 2 omhoog. Oke even kijken, even kijken dat is van Diemen Krimpen-wit?'	
		Telefoon (DIM380 - opzichter): 'Diemen Krimpen-wit'
	Telefoon (LBC - bedrijfsvoerder): 'dan wil ik van blok Diemen Krimpen-wit B railscheider staat omhoog met 2 fasen. Kun jij ter plekke uitsturen, hand bediend?'	
		Telefoon (DIM380 - opzichter): 'ik ga, ik ga het proberen uit te sturen'
	Telefoon (LBC - bedrijfsvoerder): 'ja'	
		Telefoon (DIM380 - opzichter): 'van het 380 kV veld Krimpen-wit gaan wij de B railscheider proberen uit te sturen'
9:40:57	KIJ W: WS 1 WERK	
9:41:00		KIJ W: RSB Tussenstand
9:41:06		KIJ W: RSB Uitgeschakeld
10:54:02		REB500: RSB Open
9:56:55	LBC: LS Uitschakelen	
9:57:09	KIJ W: WS 1 BEDR	
9:57:35		KIJ W: LS FAILED TO OPERATE
10:04:29	LBC: LS Uitschakelen	
10:04:30		KIJ W: LS Tussenstand
10:04:49		KIJ W: LS Uitgeschakeld
19:52:00 ⁴	LBC: LA Inschakelen	
19:52:08		KIJ W: LA Tussenstand
19:52:48		KIJ W: LA Ingeschakeld

Ter illustratie zijn in Figuur 6-2 alle schakeltoestanden getoond waarin het lijnveld KIJ W zich op 27 maart 2015 heeft bevonden, met aanduiding van de tijdstippen. De getoonde schakeltoestanden zijn gebaseerd op de stand-meldingen zoals door het SCADA-systeem zijn geregistreerd. Hierbij dient te worden opgemerkt dat bij een oneigenlijke bedrijfstoestand (bijvoorbeeld een defect in de signalering) deze registratie kan afwijken van de fysieke stand van de veldelementen.

⁴ Geen van de meldingen die tussen 10:04:49 en 19:52:00 zijn geregistreerd, hebben betrekking op het lijnveld KIJ W of zijn op enige andere wijze relevant voor de opgetreden storing.

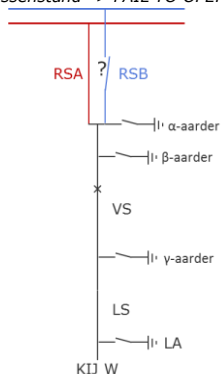
9:18:48

RSB Inschakelen (commando vanuit LBC)



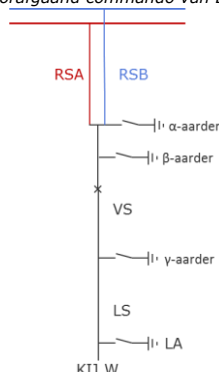
9:18:48 -> 9:19:28

RSB Tussenstand -> FAIL TO OPERATE



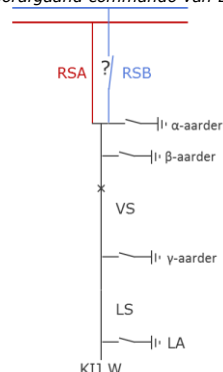
9:26:56

RSB Ingeschakeld (zonder voorafgaand commando van LBC)



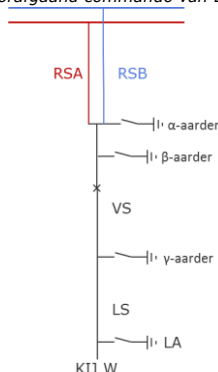
9:27:29

RSB Tussenstand (zonder voorafgaand commando van LBC)



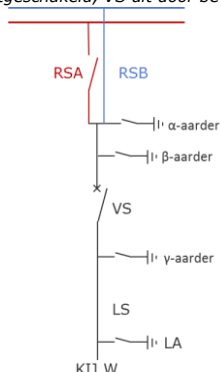
9:31:39

RSB Ingeschakeld (zonder voorafgaand commando van LBC)



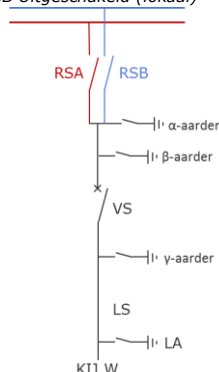
9:37:54

RSA Uitgeschakeld, VS uit door beveiliging



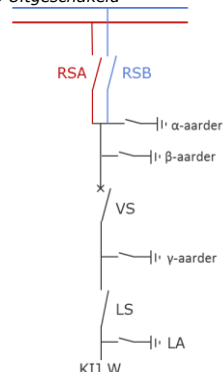
9:41:00

RSB Uitgeschakeld (lokaal)



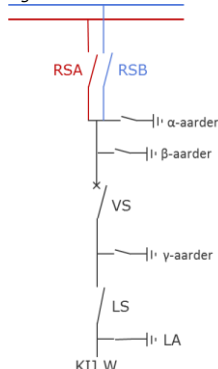
10:04:49

LS Uitgeschakeld



19:52:48

LA Ingeschakeld



Figuur 6-2 Opeenvolgende schakeltoestanden van het lijnveld KIJ W op 27 maart 2015

7 TECHNISCHE ANALYSE

In dit hoofdstuk wordt de technische analyse beschreven van de storing op 27 maart 2015, waarbij gebruik gemaakt wordt van de verkregen informatie, de observaties en de metingen. Zoals beschreven bij de onderzoeksvraag is de uitval van 380 kV-station Diemen in twee fasen tot stand gekomen. De eerste fase heeft geleid tot het ontstaan van de primaire storing. In de tweede fase escaleerde de primaire storing tot een volledige uitval van het station.

Het ontstaan van de primaire storing wordt geanalyseerd in paragraaf 7.1. Op basis van een eerste analyse is een aantal hypothesen geformuleerd, en vervolgens gevalideerd door deze te confronteren met beschikbare feiten en informatiebronnen. Hier is een tweetal hypothesen uit voortgekomen die niet weersproken konden worden op basis van bewijsmateriaal. Deze twee hypothesen voor het ontstaan van de primaire storing worden in paragraaf 7.2 onderworpen aan een nadere analyse. Daarbij wordt in detail beargumenteerd of deze hypothesen al dan niet een verklaring bieden voor het ontstaan van de storing.

Paragraaf 7.3 vat de resultaten van deze analyse samen.

De analyse van de escalatie van de primaire storing tot de volledige uitval van het station wordt beschreven in paragraaf 7.4.

Bij de analyse is gebruik gemaakt van "Incident Mapping"⁵. Hiermee worden oorzaak-gevolg relaties onderzocht en (visueel) inzichtelijk gemaakt. Het resulterende incident map wordt gepresenteerd en besproken in paragraaf 7.5.

7.1 Analyse primaire storing

Om de oorzaak van de technische storing in 380 kV-station Diemen te achterhalen zijn na een eerste analyse de volgende twee hypothesen voor het ontstaan van de primaire storing opgesteld en geanalyseerd:

- 1 **Commutatiefout:** voorafgaand aan de storing hebben beide railscheiders RSA en RSB met alle drie fasen contact gemaakt met de beide railsystemen A (RSA) en B (RSB). Bij het openen van railscheider RSA is de belasting niet gecommuteerd naar railscheider RSB, waardoor railscheider RSA een commutatiestroom voerde terwijl hij geopend werd.
- 2 **Ontbrekend galvanisch contact railscheider RSB fase 4:** voorafgaand aan de storing heeft railscheider RSA met alle drie fasen contact gemaakt met railsysteem A. Railscheider RSB stond in, maar maakte slechts met de fasen 8 en 12 contact met railsysteem B. Fase 4 van railscheider RSB heeft onbedoeld geen galvanisch contact gemaakt met rail B. Bij het openen van railscheider RSA kon de belastingstroom daardoor niet commuteren naar railscheider RSB. Als gevolg voerde fase 4 van railscheider RSA tijdens het openen de volledige belastingstroom van fase 4.

In onderstaande analyse wordt de waarschijnlijkheid van beide hypothesen onderzocht.

Cruciaal in de analyse blijkt het gedrag van scheiders met de bijbehorende logica en schakelvoorwaarden. Hieronder worden de drie belangrijkste operationele situaties kort geschreven.

Schakelen van bedrijfsspanning zonder belasting

Tijdens het schakelen (openen) met een scheider terwijl deze onder spanning staat, zonder dat er een bedrijfsstroom loopt, zal een kleine stroom (In de vorm van een vlamboog) van maximaal enkele

⁵ Voor het opzetten van de Incident Map is de methodiek van Kepner Tregoe gehanteerd



ampères vloeien. Een voorbeeld hiervan is het afschakelen van een kleine capacatieve last (bijvoorbeeld een onbelast veld). Door de kleine boogstroom wordt de vlamboog nauwelijks thermisch onderhouden. Dit betekent dat de vlamboog onderbroken kan worden op het moment, dat de scheidercontactafstand een isolatiewaarde bereikt die minimaal gelijk is aan de optredende overspanning door het onderbreken van de stroom. Dit wordt typisch bereikt ver voordat de scheider zijn eindstand bereikt heeft, dus voor 400 kV betekent dit minder dan 1 meter.

Schakelen van bedrijfsstroom met commutatie

Tijdens het schakelen (openen) met een scheider terwijl deze een bedrijfsstroom voert, zal over de scheider na het openen een (geringe) spanning (de commutatiespanning) staan. Voorwaarde is dat de bedrijfsstroom wordt overgenomen door (gecommuteerd naar) een tweede scheider. Dit zal bijvoorbeeld gebeuren tijdens het schuiven van belasting. De huidige norm IEC 62271-102⁶ voor scheiders specificeert voor een 420 kV AIS station een commutatiespanning van maximaal 300 V en een maximaal te schuiven belastingstroom van 80% van de nominale stroom met een absoluut maximum van 1,600 A. Bij het commuteren van belasting van een rail naar een andere rail is de te schakelen stroom (en dus de stroom in de boog) aanzienlijk, veelal honderden ampères of meer. Door de grootte van deze stroom wordt de vlamboog thermisch onderhouden en zal een boogspanning resulteren van 10 tot 30 V/cm. De boog zal doven als ze zo lang wordt dat de boogspanning groter is dan de resulterende spanning na de onderbreking. Bij een commutatiespanning van 300 V zal de boog dus naar verwachting onderbreken indien deze een lengte bereikt van ca. 30 cm. Hiervoor is slechts een relatief kleine opening van de scheider nodig.

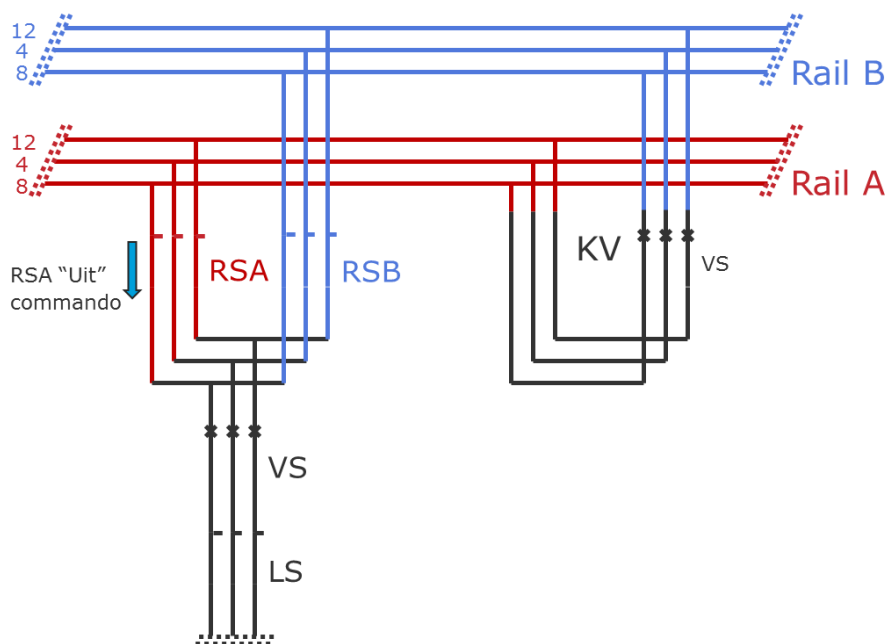
(Vlam)boog ontwikkeling bij schakelen met belasting

Aan de hand van bovenstaande kan afgeleid worden hoe een boog zich ontwikkelt in het extreme geval dat een volledig belasting wordt afgeschakeld door een lucht geïsoleerde scheider in plaats van door de vermogensschakelaar. We nemen aan, dat de bedrijfsstroom enkele 100-en ampères bedraagt bij een bedrijfsspanning van 400 kV (een fasespanning van 230 kV). Aangezien de te onderbreken stroom aanzienlijk is, zal de boog thermisch onderhouden worden en zal de resulterende boogspanning 10 tot 30 V/cm bedragen. De boog zal zichzelf pas blussen als deze een lengte heeft bereikt waarover de spanningsval groter is dan de bedrijfsspanning (fase-topspanning). Met de gegeven indicatieve getallen leiden we af dat de boog een lengte van 80 tot 240 meter kan bereiken voordat deze wordt onderbroken. In dit soort situaties zal de boog zich zeer grillig gedragen en wordt de richting voornamelijk door externe invloeden als wind bepaald.

7.1.1 Hypothese 1: Commutatiefout

Uitgangspunt voor deze hypothese is dat beide railscheiders RSA en RSB van lijnveld KIJ W correct met alle fasen in positie "IN" staan. Figuur 7-1 geeft de startpositie weer tijdens het optreden van de storing. Railscheider RSA wordt geopend en tijdens het openen ontstaat een commutatievlamboog. Hierbij wordt de stroom gecommuteerd ("overgedragen") van railscheider RSA naar railscheider RSB. Het scenario bij deze hypothese is dat de commutatievlamboog niet tijdig dooft en door de westenwind richting de fase 8 geleider in het dak-net wordt geblazen. De commutatievlamboog maakt vervolgens contact met het dak-net van fase 8 en veroorzaakt een twee-fasen-kortsluiting tussen contacten van railscheider RSA fase 4 en het daknet van fase 8.

⁶ Het is op dit moment niet duidelijk of deze norm geldig is voor de scheiders op station Diemen, in verband met de leeftijd van deze scheiders.

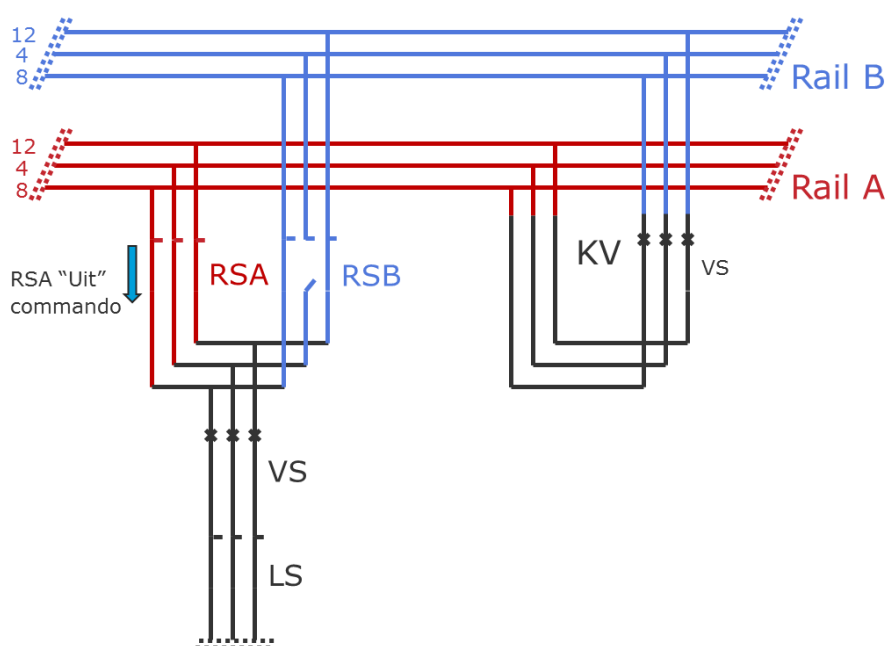


Figuur 7-1 Startpositie van hypothese 1: railscheider RSB staat volledig "In"

Een vlamboog die ontstaat bij het openen van railscheider RSA terwijl railscheider RSB volledig in positie "IN" staat (op alle fasen) is in overeenstemming met de situatie voor het schuiven met belastingen beschreven in de inleiding van hoofdstuk 7.1 ("Schakelen van bedrijfsstroom met commutatie").. De belastingstroom tijdens het optreden van de storing was circa 1000 A. Doordat het lijnveld KIJ W direct naast het koppelveld is opgesteld met een hart-tot-hart-afstand van circa 20 meter is de elektrische lus en de reactantie in de lus klein. Hierdoor zal de opgebouwde commutatiespanning over de opengaande scheidercontacten van railscheider RSA klein zijn. Hierdoor zal de vlambooglengte beperkt blijven tot enkele tientallen centimeters, en uitdoven voordat hij voldoende lengte kan krijgen om in de nabijheid te komen van een andere potentiaal-voerende geleider (aarding of fase). De afstand tussen twee fasen die hiervoor overbrugd zou moeten worden in 380 kV-station Diemen bedraagt 6 meter. De commutatieboog zal daarom niet kunnen uitgroeien tot een boog die door uitwaaiëren een sluiting inleidt tussen twee fasen. **Hypothese 1 is om die reden beoordeeld als zeer onwaarschijnlijk.**

7.1.2 Hypothese 2: Ontbrekend galvanisch contact railscheider RSB fase 4

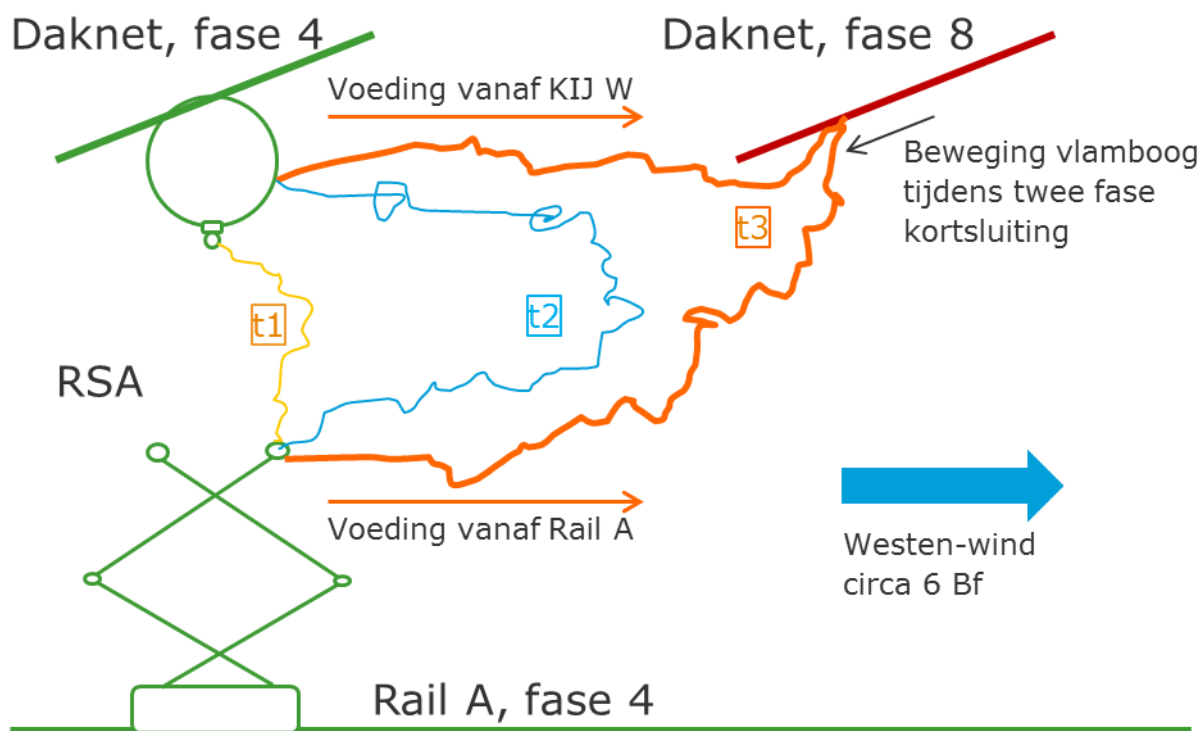
Uitgangspunt voor deze hypothese is dat railscheider RSA correct in positie "IN" staat met alle fasen, maar dat railscheider RSB niet volledig in positie "IN" staat: fase 12 en fase 8 maken correct galvanisch contact, maar fase 4 maakt geen galvanisch contact. Figuur 7-2 geeft de startpositie weer tijdens het optreden van de storing. Railscheider RSA wordt geopend en tijdens het openen ontstaat in fase 12 en in fase 8 een commutatievlamboom die tijdig dooft. Het scenario bij deze hypothese is dat in fase 4 van railscheider RSA een blijvende vlamboom ontstaat, veroorzaakt doordat de belastingstroom niet kan commuteren naar railscheider RSB, en railscheider RSA de boog niet kan doven. De vlamboom wordt door de westenwind in de richting van de fase 8 geleider in het dak-net geblazen. De commutatievlamboom maakt contact met het dak-net van fase 8 en veroorzaakt een twee-fasen kortsluiting tussen de scheider contacten van railscheider RSA fase 4 en het daknet van fase 8.



Figuur 7-2 Startpositie hypothese 2: railscheider RSB fase 4 maakt onbedoeld geen galvanisch contact

Het ontstaan van een vlamboom bij het openen van railscheider RSA, terwijl railscheider RSB niet volledig in positie "IN" staat, is in de inleiding van Hoofdstuk 7.1 beschreven bij de situatie voor het "(Vlam)boom ontwikkeling bij schakelen met belasting". In deze situatie zal de booglengte in fase 4 op railscheider RSA kunnen uitgroeien tot vele tientallen meters. De richting waarin de boog uitwaaiert wordt voornamelijk bepaald door de windrichting. De boog veroorzaakt uiteindelijk een geleidende verbinding tussen railscheider RSA fase 4 en fase 8 van het dak-net. Dit scenario is consistent met de sterke westenwind van 27 maart 2015, met de opbouw van het veld, met het geobserveerde schadebeeld, en met de gemeten stromen die aangeven dat een twee-fasen kortsluiting is opgetreden tussen de fasen 4 en 8. De fase-fase-afstand in het 380 kV-station Diemen bedraagt 6 meter.

In figuur 7-3 wordt schetsmatig weergegeven hoe de vlamboom zich heeft ontwikkeld tijdens de storing. In groen is fase 4 weergegeven, met de rail A, het mobiele contact van railscheider RSA, het vaste contact van de scheider en het dak-net van lijnveld KIJ W. In rood is het dak-net van fase 8 weergegeven. De ontwikkeling van de vlamboom is geschetst op drie opeenvolgende tijdstippen t1, t2 en t3.



Figuur 7-3 Schets boogontwikkeling naar twee-fasen kortsluiting

Het scenario kan als volgt worden beschreven:

Tijdstip t1. Door het openen van railscheider RSA ontstaat een blijvende vlamboog in fase 4.

Tijdstip t2. Deze vlamboog wordt door de westenwind in de richting van het dak-net van fase 8 geblazen.

Tijdstip t3. Op het moment dat de vlamboog het dak-net van fase 8 raakt ontstaat een kortsluiting. De kortsluitstroom wordt op twee manieren gevoed:

- voeding vanaf het lijnveld KIJ W via het daknet fase 4. Hierdoor blijft één tak van de vlamboog in stand, en vloeit een kortsluitstroom door de lijn KIJ W.
- voeding vanaf fase 4 van rail A naar fase 8 van het dak-net via railscheider RSB fase 8 naar rail B. Hierdoor blijft de tweede tak van de vlamboog in stand en vloeit een kortsluitstroom naar de rail en naar alle aangesloten lijn- en transformator-velden.

Het schadebeeld weergegeven in hoofdstuk 5.3.2 van dit rapport toont aan dat de voetpunten van de vlamboog op de scheidercontacten nagenoeg op een vaste locatie zijn blijven staan. Op het dak-net van fase 8 zijn over een lengte van enkele meters vele kleine vlamboogvoetpunten aangetroffen, wat aantoont dat de vlamboog hier snel heeft bewogen. Dit is een gevolg van de elektrodynamische krachten die op de boog werken, in combinatie met de vrije bewegingsruimte op de geleider. **Hypothese 2 is om bovengenoemde redenen beoordeeld als zeer waarschijnlijk.**

Hypothese 2 maakt het noodzakelijk om de oorzaak te onderzoeken die het mogelijk maakt dat railscheider RSA uitgeschakeld kon worden ondanks het feit dat fase 4 van railscheider RSB 4 geen galvanisch contact maakte. Tevens dient onderzocht te worden waarom railscheider RSB fase 4 geen galvanisch contact heeft gemaakt. Deze analyse wordt in de volgende paragraaf beschreven.

7.2 Technische oorzaak van de primaire storing

Belangrijk voorwaarde voor hypothese 2 is dat de scheidercontacten van railscheider RSB fase 4 onbedoeld geen galvanisch contact hebben gemaakt. Om de technische oorzaak daarvan te achterhalen dienen twee vragen te worden beantwoord:

- 1 Wat heeft het mogelijk gemaakt dat railscheider RSA geschakeld kon worden terwijl railscheider RSB fase 4 geen galvanisch contact heeft gemaakt?
- 2 Wat is de oorzaak van het niet tot stand komen van een goede galvanische verbinding van railscheider RSB fase 4 tijdens de storing?

In tabel 7-1 wordt eerst een aantal relevante waarnemingen uit de hoofdstukken 5 en 6 samengevat die ter ondersteuning dienen voor de technische analyse.

Tabel 7-1 Waarnemingen uit hoofdstuk 5 en 6

Waarnemingen	periode	Afkomstige bron
1 De WV stelt visueel vast dat Railscheider RSB fysiek drie-fasig volledig in positie "IN" staat na het inschakelen door het LBC	Vóór de storing	– Interview met werkverantwoordelijke (WV)
2 De railbeveiliging signaleert railscheider RSB in positie "IN" na het inschakelen door het LBC ^{*)}	Vóór de storing	– REB 500 ⁷
3 Het SCADA systeem meldt railscheider RSB tussenstand ⁸	Vóór de storing	– SCADA
4 De technische specialist meet op het stand-meldings-contact van railscheider RSB fase 4 geen verbinding en brengt een fysieke overbrugging aan.	Vóór de storing	– Interview met werkverantwoordelijke
5 Het SCADA system meldt railscheider RSB in positie "IN"	Vóór de storing	– SCADA
6 De WV stelt visueel vast dat railscheider RSB fase 4 in positie "UIT" staat (volledig naar beneden) en dat fase 12 en 8 in positie "IN" staan	Direct na de storing	– Interview met werkverantwoordelijke
7 In de stand-meldings-contacten van railscheider RSB fase 4 is een fysieke overbrugging aanwezig	Na de storing	– Inspectie DNV GL
8 De motor van railscheider RSB fase 4 is defect	Na de storing	– Inspecties en metingen TenneT en DNV GL
9 Het fysiek zelfstandig zakken van railscheider RSB is niet reproduceerbaar	Na de storing	– Test DNV GL en TenneT

⁷ REB 500 signaleert de scheider als "IN" wanneer één pool van de scheider in de "IN"-positie staat

⁸ SCADA signaleert de scheider als "IN" wanneer alle polen van de scheider in de "IN"-posities staan



DNV GL merkt op dat elke waarneming kritisch gewogen moet worden, en dat alle waarnemingen in samenhang beoordeeld dienen te worden. Gegevens winnen aan bewijskracht wanneer ze elkaar bevestigen, ondersteunen of niet uitsluiten. Wanneer waarnemingen onderling in tegenspraak zijn (of lijken te zijn), volgt een nadere analyse.

De betrouwbaarheid van gegevens hangt samen met de bron van informatie. Zo zijn gegevens uit registratieapparatuur doorgaans objectief, al dient bij de interpretatie rekening gehouden te worden met de wijze waarop gegevens worden gedefinieerd, verwerkt en vastgelegd. Mondelinge informatie kan beïnvloed worden door persoonlijke betrokkenheid, voorkennis en interpretatie van de waarnemer. Om te voorkomen dat mogelijke vergissingen leiden tot onjuiste conclusies, wordt mondelinge informatie in eerste instantie als ondersteunende informatie gehanteerd, en wint ze aan significantie indien ze door onafhankelijke bronnen wordt onderschreven, of tenminste niet ontkracht.

De consistentie van waarnemingen wordt in de analyse nader onderzocht.

In de volgende paragrafen worden de bovengenoemde vragen (wat heeft het mogelijk gemaakt dat railscheider RSA geschakeld kon worden terwijl railscheider RSB fase 4 geen galvanisch contact heeft gemaakt, en wat is de oorzaak van het niet tot stand komen van een goede galvanische verbinding van railscheider RSB fase 4 tijdens de storing) aan een nadere analyse onderworpen.

7.2.1 Openen railscheider RSA bij niet correct gesloten railscheider RSB

De vraag die geadresseerd wordt luidt volledig:

Wat heeft het mogelijk gemaakt dat railscheider RSA geschakeld kon worden terwijl railscheider RSB fase 4 geen galvanisch contact heeft gemaakt?

Het LBC geeft een uitschakel-commando voor railscheider RSA. Dit commando zou normaliter geblokkeerd dienen te worden door het vergrendelcircuit, omdat voor railscheider RSB door het LBC geen "IN" stand is ontvangen na het "IN" schakelen van railscheider RSB (waarneming 3). Deze vergrendeling is opgeheven door middel van een fysieke overbrugging in de stand-meldings-contacten van railscheider RSB fase 4 (waarneming 4 en 7). Door deze overbrugging wordt railscheider RSB in het SCADA-systeem weergegeven als zijnde in "IN" (waarneming 5) en wordt de vergrendelvoorwaarde opgeheven waardoor stuurcommando's in het SCADA systeem voor railscheider RSA worden vrijgegeven.

De technische specialist heeft de overbrugging gerealiseerd na een meting in de secundaire installatie van railscheider RSB (waarneming 4). Deze overbrugging is gemaakt in de overtuiging dat railscheider RSB fysiek "IN" stond conform waarneming 1 van de werkverantwoordelijke. Bij waarneming 1 is het 4-ogen principe niet toegepast. Overigens kent TenneT een werkinstructie "Tijdelijke aanpassing standmeldings-signalering" waarin is beschreven hoe gehandeld moet worden wanneer een standmeldings-signalering tijdelijk wordt aangepast. Deze werkinstructie is niet opgevolgd voor het deel waarin is vastgelegd dat de primaire component in overeenstemming gebracht moet worden met de secundaire aanduiding, en in deze stand geblokkeerd moet worden.

7.2.2 Oorzaak niet correct gesloten railscheider RSB

De vraag die geadresseerd wordt luidt volledig:

Wat is de oorzaak van het niet tot stand komen van een goede galvanische verbinding van railscheider RSB fase 4 tijdens de storing?

Uit de eerdere analyse is geconcludeerd dat het zeer waarschijnlijk is dat railscheider RSB fase 4 geen galvanische verbinding heeft gemaakt. DNV GL heeft op basis van haar analyse vier deelhypothesen geformuleerd die hier een verklaring voor zouden kunnen geven. De volgende deelhypothesen zijn hieronder beschreven en onderzocht door DNV GL:

- 2a De scheider is in beweging gekomen en zelfstandig gezakt;
- 2b De scheider is in beweging gekomen en bedoeld of onbedoeld uitgestuurd op de klemmenstrook;
- 2c De scheider is in beweging gekomen en via reguliere bediening uitgestuurd;
- 2d De scheider heeft de "UIT" stand niet verlaten en is niet in beweging gekomen.

7.2.2.1 Hypothese 2a: Railscheider RSB fase 4 van het lijnveld KIJ W is in beweging gekomen en zelfstandig gezakt

Beschrijving:

In deze hypothese heeft railscheider RSB vóór het openen van railscheider RSA in een tussenstand gestaan die visueel als "IN" kan worden geïnterpreteerd. Direct na de storing (na het openen van railscheider RSA) staat de scheider beneden ("UIT" of bijna "UIT"). De hypothese gaat er van uit dat de scheider uit eigen beweging, dus zonder aandrijfmotorbekrachtiging, is gezakt.

Analyse:

Tests op de railscheiders van het lijnveld KIJ W in het 380 kV-station Diemen op zaterdag 11 april 2015 hebben aangetoond dat het zelfstandig zakken van de railscheiders in dit lijnveld, zowel voor railscheider RSA als voor railscheider RSB, niet reproduceerbaar is. De railscheiders zijn in diverse tussenposities gestuurd en hebben vervolgens meer dan 20 minuten met onbekrachtigde aandrijfmotor stil gestaan. Hierbij is geen zakkende beweging geconstateerd. Daarnaast is getracht om railscheider RSA fase 8 en railscheider RSB fase 4 vanuit een tussenstand met mankracht naar beneden te drukken, zonder dat de aandrijfmotor bekrachtigd was. Dit bleek niet mogelijk. Deze bevinding is consistent met de mechanische opbouw van de aandrijving. De aandrijfmotor is via een wormwiel verbonden met het aandrijfmechaniek van de scheider. Deze wormwieloverbrenging heeft een zodanig zelf-remmende werking dat de beweging van de scheider niet of nauwelijks omgezet kan worden in een draaiende beweging van de aandrijfmotor.

Het wordt om die reden onwaarschijnlijk geacht dat de railscheider RSB fase 4 op 27 maart na het "In" schakelen zelfstandig is gezakt. **Hypothese 2a wordt daarom onwaarschijnlijk geacht.**

7.2.2.2 Hypothese 2b: Railscheider RSB fase 4 van het lijnveld KIJ W is in beweging gekomen en bedoeld of onbedoeld "UIT" gestuurd op de klemmenstrook

Beschrijving:

Deze hypothese lijkt op hypothese 2a, met het verschil dat de railscheider RSB fase 4 nu voor de storing, bedoeld of onbedoeld, is "UIT" gestuurd door een overbrugging op de klemmenstrook, terwijl railscheider fase 12 en 8 "IN" bleven staan. In deze hypothese heeft het uitsturen plaats gevonden tussen het



moment van waarneming dat de railscheider RSB goed "IN" heeft gestaan en het moment dat railscheider RSA uitgeschakeld werd.

Analyse:

Na de storing is vastgesteld dat de aandrijfmotor van railscheider RSB fase 4 defect was. Het is echter niet met zekerheid vast te stellen op welk moment deze aandrijfmotor defect is geraakt: vóór de werkzaamheden op 27 maart of tijdens de werkzaamheden op 27 maart. Om hypothese 2b aannemelijk te maken moet de aandrijfmotor defect zijn geraakt op de dag van de storing direct na het inschakelen van railscheider RSB, maar voor het uitsturen van railscheider RSA. Dit kan op voorhand niet worden uitgesloten, en wordt daarom hieronder nader geanalyseerd.

De event en alarmlijsten geven aan dat railscheider RSB op 27 maart 2015 om 9:18:48 is ingestuurd. Vanaf dat moment tot aan de storing is een aantal keren een tussenstand gemeld en een aantal keren een "IN" stand. In die periode is geen "UIT" stand geregistreerd. Pas op 9:41:06 is een "UIT" stand geregistreerd, ofwel na de storing en nadat de railscheider RSB lokaal is uitgestuurd. Op basis hiervan kan geconcludeerd worden dat de "UIT" signalering correct functioneert. Op grond hiervan kan tevens worden gesteld dat railscheider RSB tussen 9:18:48 en 9:41:06 niet drie-fasig in een volledige uit positie heeft gestaan. Indien railscheider RSB drie-fasig en volledig was uitgestuurd, zou immers een standmelding "UIT" zijn gegenereerd.

Elke railscheider in het lijnveld KIJ W is uitgerust met een apart motorrelais volgens het stroomkringschema dat is weergegeven in Figuur 5-2. De functie van dit relais is om op basis van een gegeven schakelcommando de aandrijfmotor van de betreffende scheider aan te sturen. Uit het stroomkringschema blijkt dat de besturing altijd tweezijdig is uitgevoerd. Dit wil zeggen dat op alle elementen van de besturing zowel aan de positieve zijde als aan de negatieve zijde een verbinding gemaakt moet worden. Dit voorkomt dat enkelvoudige handelingen, zoals het aanbrengen van een spanning op één klem, de scheider in beweging kunnen brengen. Indien bij het plaatsen van een overbrugging bedoeld of onbedoeld contact wordt gemaakt met één van de stuursignalen, zal dit nog niet leiden tot een actieve beweging van de scheider. Er moet op twee plaatsen onafhankelijk van elkaar een verbinding worden gemaakt.

De contacten voor sturing en standmelding bevinden zich op dezelfde klemmenstrook, binnen een overbrugbare afstand. Het is daarom mogelijk dat er per ongeluk een verbinding is gemaakt naar een stuursignaal. Doordat echter de stuursignalen een dubbele verbinding nodig hebben, aan positieve en negatieve zijde, én doordat de stuursignalen 3-fasig zijn gekoppeld, is het onwaarschijnlijk dat één onbedoelde overbrugging zal leiden tot het uitsturen van alleen fase 4 van railscheider RSB.

DNV GL acht de mogelijkheid dat RSB fase 4 onbedoeld is uitgestuurd onwaarschijnlijk op basis van bovenstaande analyse. We vatten de argumenten puntsgewijs samen:

- er is een tweezijdige stuuractie nodig om scheiders in beweging te krijgen
- de stuuractie zal leiden tot drie-fasig "UIT" schakelen van railscheider RSB
- er is geen "UIT" melding gesignaleerd in de periode tussen het inschakelen railscheider RSB en het uitschakelen railscheider RSA
- rechtstreekse bekrachtiging van de motor is niet mogelijk vanuit het veldhuisje.

Uit de beschikbare informatie bronnen (interviews en SCADA) kan worden opgemaakt dat tussen 9:18:48 en 9:37:44 niet lokaal geschakeld is. DNV GL heeft tijdens het bezoek aan het veldhuisje direct na de storing geen aanwijzingen gevonden van bedoeld lokaal schakelen met railscheider RSB en heeft geen aanwijzingen om aan te nemen dat er wel is geschakeld met railscheider RSB in het tijdvak 9:18:48 en 9:37:44. **Om bovenstaande redenen acht DNV GL hypothese 2b onwaarschijnlijk.**

7.2.2.3 Hypothese 2c: Railscheider RSB is via reguliere sturing uitgestuurd

Beschrijving:

In deze hypothese is de railscheider RSB vóór het uitsturen van railscheider RSA uitgestuurd via de reguliere bedieningsmogelijkheden. Dat wil zeggen dat, anders dan in hypothese 2b, de railscheider via de daarvoor bedoelde bedieningsknoppen wordt uitgestuurd.

Analyse:

De reguliere uitsturing van railscheider RSB kan worden uitgevoerd vanuit het LBC of via lokale bediening op 380 kV-station Diemen.

- Op de alarmmeldingen van het SCADA-systeem zijn geen stuursignalen waargenomen. Op andere tijden en andere locaties, waarbij via het SCADA systeem een stuurcommando is gegeven wordt dit wel geregistreerd. Dat toont aan dat deze registratie correct functioneert. Hierdoor wordt aangetoond dat vanuit het LBC via het SCADA systeem geen stuursignalen zijn gegeven op railscheider RSB nadat deze is ingestuurd op 27 maart om 9:18:48.
- Lokale bedieningen worden niet als stuursignaal geregistreerd. Alle reguliere lokale bedieningsmogelijkheden, bedienen de scheiders altijd drie-fasig. Dat betekent dat bij een lokale uitsturing alle drie de fasen uitgestuurd hadden moeten zijn én daarbij een "UIT" standmelding hadden moeten geven. Deze "UIT" standmelding is niet geregistreerd. Daarmee wordt aangetoond dat de railscheider RSB niet via de reguliere lokale bediening is uitgestuurd.

Op basis van deze analyse beoordeelt DNV GL hypothese 2c onwaarschijnlijk.

7.2.2.4 Hypothese 2d: Railscheider RSB fase 4 van het lijnveld KIJ W heeft de "UIT" stand niet verlaten en is niet in beweging gekomen

Beschrijving:

Deze hypothese veronderstelt dat railscheider RSB fase 4 niet of nauwelijks in beweging is gekomen tijdens het insturen van railscheider RSB. Fase 4 van railscheider RSB heeft de "UIT" stand niet verlaten. Deze hypothese veronderstelt dat de aandrijfmotor van railscheider RSB fase 4 defect was voordat de scheider de "UIT" stand kon verlaten bij het insturen op 27 maart 2015.

Analyse:

Na de storing is vastgesteld dat de aandrijfmotor van railscheider RSB fase 4 defect is. Het moment van defect raken is niet met zekerheid vast te stellen, maar in deze hypothese is de motor vóór de start van de werkzaamheden op 27 maart defect geraakt. Via de eventlijst is waargenomen dat scheider RSB op het veld KIJ W woensdag 25 maart succesvol is ingestuurd, omdat toen op 12:09:07 een melding KIJ W railscheider RSB ingeschakeld is geregistreerd, 9 seconden nadat een "IN" stuurcommando is geregistreerd. Deze 9 seconden komt overeen met de te verwachten looptijd van dit type scheider. Op eenzelfde manier is een succesvol "UIT" commando en een eind positie geregistreerd om 12:12:14 respectievelijk 12:12:24 op dezelfde dag. Dit toont aan dat op 25 maart de scheider goed functioneerde en een positie bereikte waarin een "UIT" stand gemeld werd.

Op vrijdag 27 maart is om 9:18:48 railscheider RSB ingestuurd, maar er is geen bevestiging van de "IN" stand ontvangen (voordat de standmeld-contacten overbrugd waren). Het gevolg is dat een "TUSSENSTAND" wordt gesignaleerd. Om 9:41:06, het moment na de kortsluiting en direct nadat op verzoek van LBC de railscheider RSB lokaal is uitgestuurd, is een "UIT" signaal ontvangen. Dit toont aan dat de standmelding "UIT" goed functioneerde én dat railscheider RSB in de tussenliggende tijd niet volledig (3-fasig) in de "UIT" positie heeft gestaan. Deze analyse toont tevens aan dat de aandrijfmotor niet defect kan zijn geraakt nadat de scheider de "UIT" stand heeft verlaten tijdens de opgaande

beweging volgend op het instuur commando. Indien dit het geval zou zijn geweest, had immers de railscheider RSB fase 4 om 9:41:06 geen "UIT" stand kunnen geven, en zou de scheider de serie schakeling van de polen in "TUSSENSTAND" blijven staan. Opgemerkt dient te worden dat de geregistreerde "IN" standmelding zeer waarschijnlijk is veroorzaakt door de overbrugging en niet door de werkelijke stand van de railscheider RSB fase 4. Dit wordt bevestigd door het interview met de WV en door het overbruggingsmateriaal dat door DNV GL is waargenomen tijdens het eerste bezoek op locatie.

Gezien het voorgaande kunnen zich twee mogelijkheden voordoen:

- a De railscheider RSB fase 4 is omhoog gekomen, maar heeft de eindpositie niet bereikt en is actief uitgestuurd, waarna de aandrijfmotor defect is geraakt
- b De railscheider RSB fase 4 is niet omhoog gekomen, omdat de aandrijfmotor al defect was voor het instuur-commando op 27 maart om 9:18:48, of tijdens het aanlopen van de aandrijfmotor bij het insturen op 27 maart om 9.18:48.

Mogelijkheid a) is in hypothese 2b onderzocht en als onwaarschijnlijk beoordeeld. Dan rest als enige optie nog mogelijkheid b), dat wil zeggen dat de scheider niet omhoog is gekomen doordat de aandrijfmotor defect was vóór het instuur commando.

Dit roept de vraag op waarom railscheider RSB fase 4 niet omhoog is gekomen. Metingen aan het stuurstroomcircuit tonen aan dat de aandrijfmotor van railscheider RSB fase 4 na de storing defect was. De defecte aandrijfmotor is door DNV GL onderzocht. De meest waarschijnlijke oorzaak van het defect is dat de motor gedurende enige tijd met geblokkeerde rotor onder spanning is blijven staan, mogelijk als gevolg van het niet uitschakelen van de motorspanning bij het bereiken van de eindstand. Deze bevinding, gecombineerd met de waarneming dat railscheider RSB fase 4 nog correct heeft gefunctioneerd tijdens de laatste schakelhandeling ("UIT" schakelen op 25 maart 2015) doet vermoeden dat de aandrijfmotor defect is geraakt bij het bereiken van de eindpositie in "UIT" stand op 25 maart.

Om dit vermoeden te onderzoeken zijn op zaterdag 11 april 2015 metingen uitgevoerd aan alle relaiscontacten van railscheider RSB fase 4, en aan de contactenwals. Tijdens metingen aan de contacten van de contactenwals is geconstateerd dat vanaf de klemmen van wals-contact 22-12 een gesloten stroomcircuit bestond. Dit is niet in overeenstemming met het stuurstroomcircuitsschema, aangezien het stuurstroomcircuit gedurende de meting in rust was en de scheider zich in de "UIT" positie bevond. Wals-contact 22-12 is mechanisch verbonden met de scheider en dient te openen op het moment dat de scheider in de "UIT" positie komt. Daarmee onderbreekt dit contact het stuurstroomcircuit van de aandrijfmotor waardoor de motor stopt.

Op 8 april 2015 zijn door DNV GL gelijkstroomweerstandmetingen uitgevoerd aan het stuurstroomcircuit van railscheider RSB (zie hoofdstuk 5.3.3.1). Hierbij is tijdens de tweede meting in fase 4 een afwijkende gelijkstroomweerstand gemeten die ongeveer de helft bedroeg van de waarden gemeten in fasen 12 en 8. De meest waarschijnlijke verklaring hiervoor is dat de relaisbekrachtigingsspoelen van relais MA en MAU parallel zijn gemeten. Volgens het stuurstroomcircuit kan dit alleen als het wals-contact 22-12 gesloten is. Dit is in overeenstemming met de meting op 11 april. Indien het contact niet opent, wordt de motorbekrachtiging niet onderbroken wanneer de scheider mechanisch in de eindpositie komt. Hiermee komt de aandrijfmotor met blijvende bekrachtiging tot stilstand, en zal een grote stroom gaan lopen totdat de bekrachtiging wordt onderbroken door een tijdrelais in het stuurstroomvoedingscircuit. Deze grote stroom zal tot een thermische veroudering van de motor leiden en uiteindelijk zal de motor defect raken ervan. Deze bevinding versterkt het vermoeden dat de motor op 25 maart defect is geraakt.

Hoewel in het stuurstroomcircuit geen andere schakelaar- of relaiscontacten aanwezig zijn die een elektrische verbinding over het wals-contact 22-12 tot stand kunnen brengen, is niet met zekerheid vast te stellen dat het contact in onjuiste positie heeft gestaan. Andere mogelijkheden kunnen op voorhand



niet worden uitgesloten. Eén mogelijkheid is dat de elektrische verbinding die op 11 april is gemeten, is veroorzaakt door een kortsluiting in de bedrading in aandrijfkast K14. Deze kortsluiting kan eveneens leiden tot het onder spanning blijven staan van de aandrijfmotor met geblokkeerde rotor, zoals hierboven omschreven.

De onzekerheid over het correct functioneren van het wals-contact 22-12 wordt mede ingegeven door andere bevindingen. TenneT heeft op 12 april 2015 de aandrijfmotor vervangen en het afschakelen van de motorspanning gecontroleerd en meldt daarover in een e-mail op 16 april 2015 (citaat):

"alles werkt goed en de motorspanning valt goed af na een uitgevoerde actie van een in of uit commando (dit was nog een vraag vanuit DNV-GL, omdat zij dachten dat mogelijk de motor te lang bekrachtigd zou worden (ca. 30sec) en hierdoor verbrand zou kunnen zijn)."

Dit zou er op kunnen wijzen dat het wals-contact 22-12 op 12 april wel goed werkte. Het is mogelijk dat het wals-contact 22-12 een sluimerend defect vertoont, of dat in de bedrading een sluimerende kortsluiting aanwezig is, waarbij de elektrische verbinding tussen de wals-contacten 22-12 soms wel en soms niet gemaakt wordt. Meer zekerheid hierover kan pas verkregen worden na een nadere analyse van het wals-contact 22-12 en van de aandrijfkast K14.

Op basis van deze analyse komt DNV GL tot de conclusie dat hypothese 2d waarschijnlijk is.

Om meer zekerheid over deze analyse te verkrijgen is nadere analyse nodig aan o.a. het secundaire circuit van de railscheider.

Hypothese 2d strookt overigens niet met waarneming 1: "de WV stelt visueel vast dat railscheider RSB na het inschakelen door het LBC fysiek drie-fasig volledig in positie "IN" staat". DNV GL acht het waarschijnlijk dat waarneming 1 onjuist is. Hierbij merkt DNV GL op dat de werkverantwoordelijke in het veld zijn waarneming heeft verricht vanaf het bordes in het veldhuisje, dat deze waarneming niet bevestigd wordt door een tweede persoon (op dat moment is geen 4-ogen principe is gehanteerd), en dat het zicht werd belemmerd door het slechte weer en door obstakels in het zichtveld. Daarnaast werd bij meting in de secundaire installatie aan het betreffende stand-meld-contact een open contact gemeten terwijl een gesloten contact verwacht werd. Dit laatste voedde mogelijk de interpretatie dat de railscheider RSB fase 4 "IN" stond, maar verkeerd gemeld werd.

7.3 Samenvatting technische oorzaak van de storing

Tabel 7-2 geeft een samenvatting van de beoordeling van de hypothesen weer. De weging is gebaseerd op de gepresenteerde analyse in combinatie met het oordeel van DNV GL. De meest waarschijnlijke oorzaak van de primaire storing is een onderbreking van de belastingstroom doordat er geen galvanisch contact was op railscheider RSB fase 4.

De meest waarschijnlijke verklaring voor het ontbreken van dit galvanische contact is dat railscheider RSB fase 4 niet in beweging is gekomen bij het insturen op 27 maart om 9.18:48, doordat de aandrijfmotor defect was.

Tabel 7-2 Overzicht beoordeling hypothesen

Hypothese		Zeer onwaarschijnlijk	Onwaarschijnlijk	Mogelijk	Waarschijnlijk	Zeer waarschijnlijk	Bewezen
1)	<u>Commutatiefout</u> Railscheider RSA en RSB staan correct "In"	X					
2)	<u>Onderbreking belastingstroom</u> Railscheider RSB fase 4 maakt geen galvanisch contact					X	
2a)	Railscheider RSB fase 4 is in beweging gekomen en zelfstandig gezakt		X				
2b)	Railscheider RSB fase 4 is in beweging gekomen en bedoeld of onbedoeld "UIT" gestuurd via de klemmenstrook		X				
2c)	Railscheider RSB is via reguliere sturing uitgestuurd		X				
2d)	Railscheider RSB fase 4 heeft de "UIT" stand niet verlaten en is niet in beweging gekomen				X		

7.4 Analyse escalatie tot uitval

De vraag die in dit deel van het rapport centraal staat is waarom de railbeveiliging het volledige station heeft afgeschakeld. Deze analyse is gebaseerd op de beschikbare informatie afkomstig van de secundaire installatie.

7.4.1 Gebruikte informatie

Op 380 kV-station Diemen is geen aparte storingsschrijver aanwezig. Door verschillende systemen zijn ten tijde van de storing gegevens geregistreerd:

- het SCADA-systeem van station Diemen
- de railbeveiliging van station Diemen
- het beveiligingsrelais in individuele velden van station Diemen
- het beveiligingsrelais in de omliggende stations Lelystad, Oostzaan en Krimpen a/d IJssel.

De analyse is in eerste instantie gebaseerd op de data afkomstig uit het railbeveiligingssysteem (ABB REB 500) en het SCADA-systeem van station Diemen. Deze data bestaat uit de gebeurtenissenlijsten (event records) die de gebeurtenissen registreren met de tijd waarop ze gesignaleerd zijn (zogenaamde time stamps). Aangezien er geen synchronisatie is tussen het SCADA-systeem en individuele

beveiligingsrelais moeten de tijdstippen van het beveiligingsrelais gecorrigeerd worden voor ze vergeleken kunnen worden met de tijdstippen van het SCADA-systeem.

De gebeurtenissenlijsten met digitale informatie zijn beschikbaar als Excel-spreadsheets en als tekst bestanden. Van een groot aantal beveiligingsrelais zijn zogenaamde "fault records" verkregen. Fault records bevatten data van kort vóór en kort ná de fout, en laten zowel analoge data zien (golfvormen voor stroom en spanning) als digitale data (start en trip-commando's voor de verschillende beveiligingsfuncties in het relais). Deze informatie is cruciaal voor de analyse.

Van de volgende beveiligingsrelais in 380 kV-station Diemen zijn fault records verkregen:

- distantierelais lijnveld Diemen-Krimpen a/d IJssel W
- distantierelais lijnveld Diemen-Oostzaan grijs
- distantierelais lijnveld Diemen-Lelystad zwart.

Van een aantal beveiligingsrelais in de omliggende stations zijn eveneens fault records verkregen:

- distantierelais in lijnveld Diemen wit van 380 kV-station Krimpen a/d IJssel
- distantierelais in lijnveld Diemen grijs van 380 kV-station Oostzaan
- distantierelais in lijnveld Lelystad zwart van 380 kV-station Lelystad.

7.4.2 Analyse van beschikbare informatie

DNV GL heeft een gedetailleerde analyse uitgevoerd van alle beschikbare beveiligingsinformatie. Analyse van de informatie afkomstig van de verschillende beveiligingsrelais heeft geleid tot de volgende constatering:

- De railbeveiliging van 380 kV-station Diemen heeft een twee-fasen kortsluiting gezien binnen beide door het relais beveiligde zones. De railbeveiliging is hierop aangesproken en heeft na circa 60 ms een tripsignaal gegeven aan alle vermogensschakelaars in station Diemen.
- De distantiebeveiligingen in 380 kV-station Diemen zien een twee-fasen kortsluiting in achterwaartse richting, dat wil zeggen in de richting van de rail. De gemeten foutimpedantie is zeer laag.
- De distantiebeveiligingen in de omliggende 380 kV-stations zien een twee-fasen kortsluiting in voorwaartse richting in zone 2.
- In alle fault records is sprake van kortsluiting tussen de fasen L2 (fase 4) en L3 (fase 8).

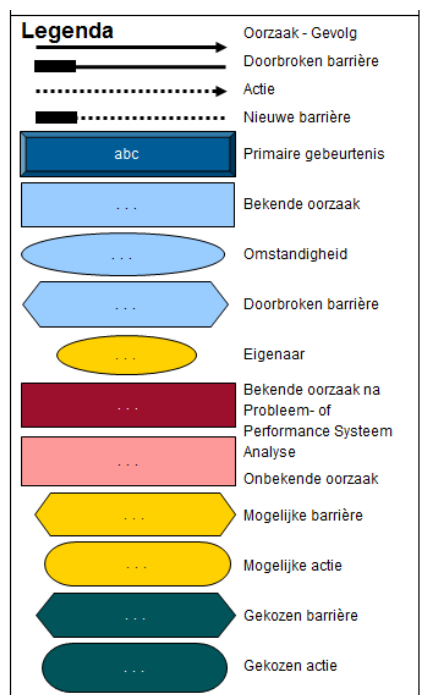
Op basis van deze constatering kan worden geconcludeerd dat zich daadwerkelijk een twee-fasen-sluiting heeft voorgedaan op het railsysteem van 380 kV-station Diemen.

De stand-melding van de beveiliging van de scheiders geeft aan dat ten tijde van de storing het circuit KIJ W beide railscheiders RSA en RSB (al dan niet volledig) gesloten waren. Voor de beveiliging geldt als criterium voor een gesloten scheider dat ten minste één van de fasen is gesloten. Hierbij is dus niet relevant of alle drie fasen van railscheider RSB gesloten waren. Bezien vanuit beveiligingsoogpunt waren de rails A en B beide in bedrijf en verbonden toen de kortsluiting optrad, en nam de beveiliging zowel in zone A als in zone B een sluiting waar. De beveiliging heeft gereageerd op de twee-fasen-fout met het afschakelen van de beide circuits A en B. Indien het beveiligingssysteem alleen zone A of alleen zone B had afgeschakeld, zou de kortsluiting op de niet-afgeschakelde zone blijven bestaan, en zou deze fout in tweede instantie alsnog zijn afgeschakeld. De beveiliging heeft derhalve correct gefunctioneerd (en daarmee voorkomen dat grote en langdurige schade kon ontstaan).

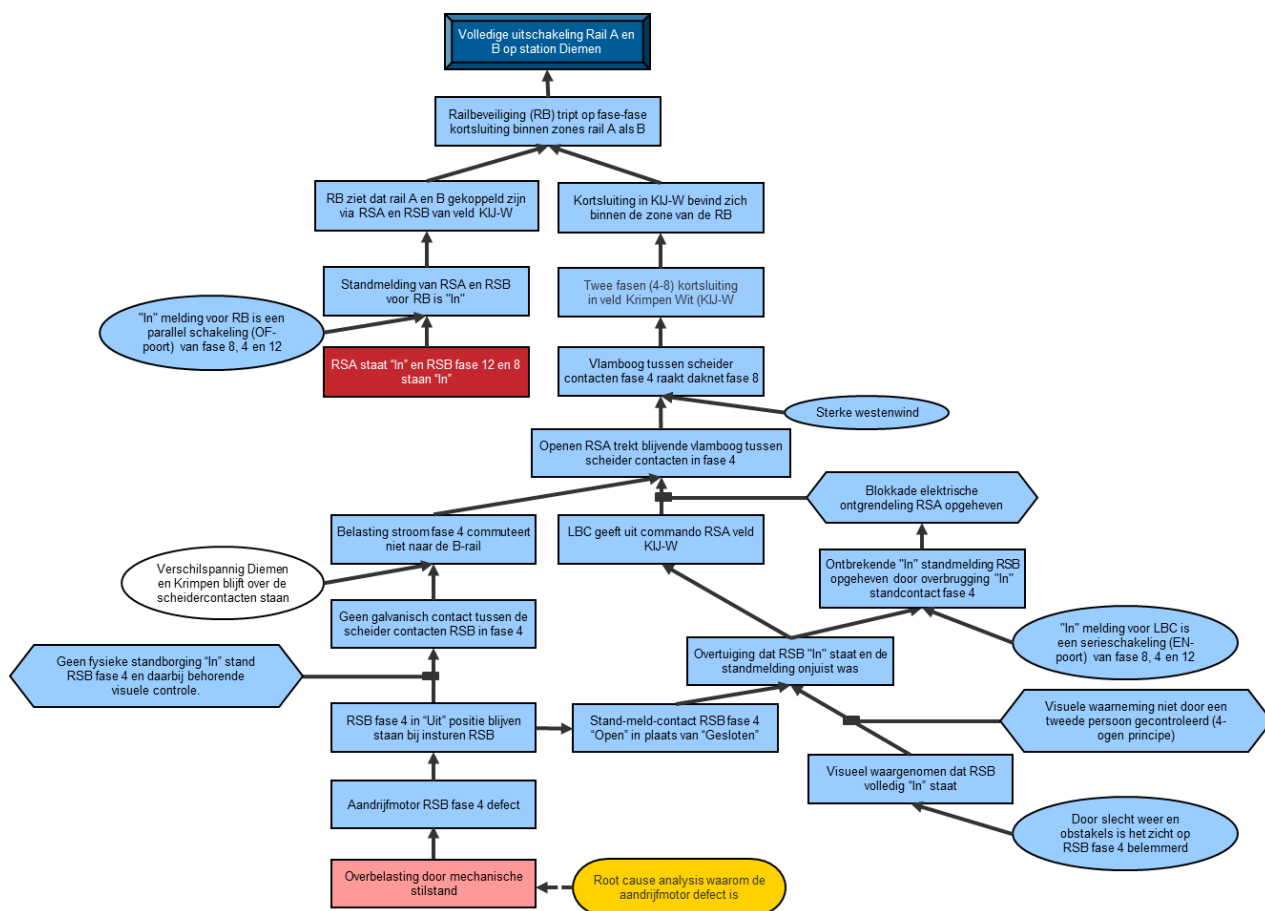
Op basis van deze constatering kan worden geconcludeerd dat het beveiligingssysteem correct heeft gereageerd door beide rails A en B af te schakelen. Dit is in overeenstemming met de locatie van het fysieke schadebeeld zoals waargenomen op het 380 kV-station Diemen.

7.5 Incident map

Het oorzaak-gevolg relaties van de meest waarschijnlijke oorzaak zijn in figuur 7-5 weergegeven volgens de "Incident mapping" methode van Kepner Tregoe. Figuur 7-4 toont de bijbehorende legenda van de gebruikte symbolen.



Figuur 7-4 Legenda Incident map, bron Kepner Tregoe



Figuur 7-5 Incident map van het ontstaan van de kortsluiting

Het volledig uitschakelen van 380 kV-station Diemen is ontstaan doordat de beveiliging heeft gereageerd op een twee-fasen-fout door de gestoorde circuits af te schakelen. Omdat beide railscheiders RSA en RSB voor de beveiliging "IN" stonden, signaleerde de beveiliging een kortsluiting in beide zones A en B en heeft beide circuits afgeschakeld. Het incident map splitst zich op dit punt in twee oorzaken.

- De linker-tak geeft aan waarom de beveiliging zowel rail A als rail B uit heeft geschakeld: De stand-melding van de beveiliging van de railscheiders RSA en RSB geeft aan dat ten tijde van de storing het circuit KIJ W via beide railscheiders RSA en RSB was verbonden met beide rails A en B. Voor de beveiliging geldt als criterium voor een gesloten scheider dat tenminste één van de polen is gesloten. Hierbij is dus niet relevant of werkelijk alle drie polen van railscheider RSB gesloten waren. Bezien vanuit beveiligingsoogpunt waren de rails A en B verbonden door middel van scheiders. Deze signalering is correct want er is bewezen dat railscheider RSA in stond, dat railscheider RSB was ingeschakeld én dat railscheider RSB met tenminste de fasen 12 en 8 "IN" heeft gestaan.
- De rechter-tak geeft aan hoe de kortsluiting is ontstaan: De kortsluiting bevindt zich aan de rail-zijde van de beveiligings-stroomtransformatoren in lijnveld KIJ W. Deze beveiligings-stroomtransformatoren bepalen fysiek de grens van de beveiligingszone van de railbeveiliging. Om die reden is de railbeveiliging de correcte beveiliging die moet aanspreken. De kortsluiting vindt plaats tussen de scheidercontacten van railscheider RSA fase 4 en de schuin bovenliggende fase 8 geleider van de lijnverbinding KIJ W (in het daknet). De sterke westenwind heeft het als externe omstandigheid mogelijk gemaakt dat de vlamboog richting deze geleider is gewaaid. Het ontstaan van de blijvende vlamboog is het gevolg van een combinatie van twee oorzaken:

- a De vlamboog is ontstaan door het openen van de scheidercontacten van railscheider RSA. In fase 4 van deze scheider ontstaat een blijvende vlamboog, doordat de belastingstroom niet kon commuteren naar railscheider RSB. Het niet kunnen commuteren van de belastingstroom is het gevolg van het ontbreken van een galvanische verbinding was tussen de scheidercontacten van railscheider RSB fase 4. De meest waarschijnlijke oorzaak van de ontbrekende galvanische verbinding bij railscheider RSB fase 4 was een defecte aandrijfmotor, vermoedelijk ontstaan door overbelasting tijdens mechanische stilstand. Hierdoor is railscheider RSB fase 4 in de "UIT" positie blijven staan bij het insturen van railscheider RSB. Doordat na het overbruggen van het stand-melding-contact "IN" van railscheider RSB fase 4 de positie van de railscheider niet in de "IN" stand is gebracht en geblokkeerd, door middel van de schakelaar op de paal van de scheider, heeft een extra controle moment van de stand van railscheider RSB fase 4 niet plaatsgevonden.
- b Het LBC geeft een uitschakel commando voor railscheider RSA. Dit commando zou normaliter geblokkeerd moeten worden door het vergrendelcircuit, omdat voor railscheider RSB door het LBC geen "IN" stand is ontvangen na het "IN" sturen van railscheider RSB. Anders dan voor de railbeveiliging, wordt de stand-melding voor het vergrendelcircuit en het LBC gevormd door een serie schakeling (logische "EN"-poort) van de stand-meldingen van de individuele fasen. Dat wil zeggen dat alle individuele scheiderpolen een "IN" stand moeten hebben, voordat het LBC een vergrendeling van de 3-fase scheider als "IN" weergeeft. Indien minimaal één fase geen "IN" melding geeft blijft de scheider in het LBC in de "Tussen" stand.
- Deze vergrendeling is opgeheven doordat het stand-melding-contact van railscheider RSB fase 4 was overbrugd. Door deze overbrugging wordt railscheider RSB als "IN" weergegeven en worden stuurcommando's voor railscheider RSA vrijgegeven. Het LBC heeft nu een bevestiging dat de railscheider RSB "IN" staat, zowel van het systeem als van werkverantwoordelijke op locatie (overigens is voor het LBC het systeem melding bepalend), en schakelt daarom op verzoek railscheider RSA uit. De werkverantwoordelijke in het veld heeft, vanaf het bordes in het veldhuisje, visueel waargenomen dat de railscheider RSB goed in stond. Bij deze visuele waarneming van de railscheiderpositie was geen tweede persoon betrokken, waardoor op dat moment geen 4-ogen principe is gehanteerd. Na meting van het betreffende stand-meld-contact, bleek deze geopend te zijn, waar een gesloten contact verwacht werd. Beide waarnemingen zorgde voor de overtuiging dat de railscheider RSB fase 4 "IN" stond, maar verkeerd gemeld werd. Opgemerkt dient te worden dat de visuele waarneming van de werkelijke stand van railscheider RSB fase 4 werd belemmerd door het slechte weer en obstakels in het zichtveld.

8 CONCLUSIES

De storing op 27 maart 2015 vond plaats in 380 kV-station Diemen, en wel in "lijnveld KIJ W", het veld dat het station verbindt met de hoogspanningslijn van Diemen naar Krimpen aan den IJssel. Bij het beschrijven van de oorzaken voor de opgetreden storing onderscheiden we twee fasen. De eerste fase betreft het ontstaan van de primaire storing. De tweede fase betreft het escaleren van de storing tot een volledige uitval van het station. De rationale achter deze keuze is dat het station zodanig ontworpen en beveiligd is dat een enkele storing niet automatisch leidt tot volledige uitval van het station.

8.1 Technische oorzaak van de primaire storing

De primaire storing zoals opgetreden in lijnveld KIJ W is een twee-fasen kortsluiting tussen de fasen 4 en 8. Meer in detail: een twee-fasen kortsluiting tussen de scheidercontacten van railscheider RSA fase 4 (in lijnveld KIJ W) en de schuin daarboven gelegen fase 8 geleider van de lijnverbinding KIJ W, die zich in het dak-net bevindt. Uit het onderzoek van DNV GL is gebleken dat de storing met een hoge mate van waarschijnlijkheid is ontstaan door een combinatie van twee technische oorzaken:

- 1 Railscheider RSB van lijnveld KIJ W heeft na een inschakelcommando niet op alle drie fasen een galvanische (geleidende) verbinding tot stand gebracht met railsysteem B. DNV GL acht het waarschijnlijk dat door een defecte aandrijvingsmotor de pantograaf van fase 4 van lijnveld KIJ W niet (of nauwelijks) in beweging is gekomen (de "UIT"-stand niet heeft verlaten) na het inschakelcommando vanuit het LBC. Vervolgens is railscheider RSA uitgeschakeld. Door het ontbreken van volledig contact op railscheider RSB bleef fase 4 van railscheider RSA bij het openen een belastingstroom voeren. Hierdoor kon de "natuurlijke" vlamboog die ontstond bij het openen van railscheider RSA niet doven, en groeide deze uit tot lus-vormige boog met grote afmetingen (tientallen meters). Onder invloed van de westenwind heeft de vlamboog een kortsluiting veroorzaakt tussen fase 4 en fase 8 van het lijnveld KIJ W.

Uit het onderzoek is gebleken dat de aandrijvingsmotor zeer waarschijnlijk defect is geraakt doordat de motor gedurende enige tijd met geblokkeerde rotor onder spanning is blijven staan, als gevolg van het niet onderbreken van de motorstroom bij het bereiken van een eindstand van de railscheider. Opgemerkt wordt dat de motor wél juist heeft gefunctioneerd op 25 maart 2015. Het is nog niet met zekerheid vastgesteld waardoor de stroom bij het bereiken van de eindstand niet is afgeschakeld. DNV GL beveelt aan om hiertoe de besturing van de motorstroom nader te analyseren, in het bijzonder de rol van het wals-contact in de aandrijfkast.

- 2 Het ontbreken van een galvanische verbinding tussen railscheider RSB fase 4 van het lijnveld KIJ W en railsysteem B, had het uitschakelen van railscheider RSA moeten verhinderen. Op grond van een onjuiste interpretatie van een visuele waarneming van de positie van railscheider RSB en een meting in de secundaire installatie van railscheider RSB, is ten onrechte geconcludeerd dat fase 4 van railscheider RSB volledig "IN" stond, en dat veilig geschakeld kon worden met railscheider RSA. Daarop is besloten om de vergrendeling tijdelijk op te heffen door het overbruggen van een stand-meldings-contact. De tijdelijke aanpassing van een stand-meldings-contact is in principe toegestaan, maar de werkinstructie schrijft voor dat de bijbehorende component fysiek in de stand wordt gebracht zoals die in het secundaire systeem wordt gepresenteerd, en dat deze stand door middel van blokkeringen wordt vergrendeld tegen ongewilde veranderingen. Dit laatste is niet gebeurd.

8.2 Technische oorzaak van escalatie tot uitval station

De functie van de beveiliging van het station is tweeledig. Enerzijds moet voorkomen worden dat een storing kan leiden tot aanzienlijke, gevaarlijke of langdurige schade aan het station. Hiertoe dienen te grote vermogens, bijvoorbeeld tijdens een kortsluiting, tijds te worden afgeschakeld. Anderzijds moet de continuïteit van de elektriciteitsvoorziening gewaarborgd worden door, ingeval van een storing aan één van de circuits, alleen het gestoorde circuit af te schakelen.

Het 380 kV-station Diemen is uitgerust met een dubbel railsysteem (rail A en rail B) met een enkel koppelveld (waarmee rails A en B gekoppeld of ontkoppeld kunnen worden). Voor de beveiliging wordt het station in twee zones verdeeld, zone A en zone B. Wanneer een kortsluiting optreedt in zone A, dan wordt alleen zone A spanningsloos gemaakt. Treedt een kortsluiting op in zone B, dan wordt alleen zone B spanningsloos gemaakt.

Conform de normale bedrijfsvoering zijn rail A en rail B gekoppeld door het koppelveld. Ten tijde van de storing waren beide rails A en B tevens gekoppeld middels de railscheiders RSA en RSB van het lijnveld KIJ W. Hierdoor waren de beveiligingszones A en B (tijdelijk) gekoppeld. Deze situatie trad op tijdens een kortdurende en gebruikelijke schakelhandeling. Tijdens deze schakelhandeling trad een kortsluiting op. Doordat beide rails in bedrijf waren toen de kortsluiting optrad, waren zowel zone A als zone B gestoord, en zijn ze beide afgeschakeld. Het gevolg was dat het station volledig spanningsloos werd.

Indien het beveiligingssysteem alleen zone A of alleen zone B had afgeschakeld, zou de kortsluiting op de niet-afgeschakelde zone zijn blijven bestaan, en zou deze fout in tweede instantie alsnog zijn afgeschakeld. De beveiliging heeft derhalve terecht beide zones afgeschakeld.



9 AANBEVELINGEN

DNV GL adviseert om bij elk majeur incident een technisch onderzoek te laten volgen door een “Root Cause Analysis” (een onderzoek naar “grondoorzaken” in termen van technologie, proces en mens) met als doel om mogelijke dieper liggende oorzaken op te sporen. Hierdoor kunnen incidentele oorzaken en structurele oorzaken beter onderscheiden en geïdentificeerd worden, en wordt het mogelijk om adequate verbetermaatregelen te treffen om herhaling te voorkomen. DNV GL beveelt aan om in deze analyse aandacht te besteden aan de besturing van de motorstroom en de naleving van werkinstructies.



About DNV GL

Driven by our purpose of safeguarding life, property and the environment, DNV GL enables organizations to advance the safety and sustainability of their business. We provide classification and technical assurance along with software and independent expert advisory services to the maritime, oil and gas, and energy industries. We also provide certification services to customers across a wide range of industries. Operating in more than 100 countries, our 16,000 professionals are dedicated to helping our customers make the world safer, smarter and greener.